KERNENERGIE

EINE BÜRGERINFORMATION

1978

Der Bundesminister
für Forschung
und
Technologie



KERNENERGIE

Eine Bürgerinformation

3. überarbeitete Auflage

Herausgeber:
Der Bundesminister für Forschung und Technologie
– Referat: Presse und Öffentlichkeitsarbeit –
3. überarbeitete Auflage, Bonn 1978
Druck: A. Bernecker, Melsungen
ISBN 3-88135-009-8

Vor mehr als drei Jahren hat der Bundesminister für Forschung und Technologie im Auftrag der Bundesregierung und aufgrund einer Absprache zwischen den Regierungschefs von Bund und Ländern mit der öffentlichen Diskussion über alle mit der Nutzung der Kernenergie zusammenhängenden Fragen begonnen. Damit wurde erstmals die Chance wahrgenommen, die Entwicklung und Nutzung einer neuen Technologie mit einem breit angelegten öffentlichen Meinungs- und Willensbildungsprozeß zu verbinden.

Die Diskussion hat deutlich gemacht, daß bei der Energiepolitik Schlüsselfragen unserer wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Entwicklung angesprochen sind. Entscheidungen über neue Technologien sind auch politische Entscheidungen, die auf vielfache Weise unser aller Leben beeinflussen.

Durch das Angebot und die Gestaltung der öffentlichen Diskussion sollten von Anfang an folgende Zielsetzungen verwirklicht werden:

- umfassende Informationen über die Vor- und Nachteile der Kernenergienutzung und über den Standpunkt der Bundesregierung zu Nutzen und Risiko der Kernenergie zu liefern;
- allen Meinungen, auch denen der Kritiker und Gegner der Kernenergienutzung, Gelegenheit zu geben, ihre Argumente den interessierten Bürgern darzulegen und zur Diskussion zu stellen;
- die gesellschaftlichen Gruppen – Kirchen, Parteien, Gewerkschaften, Bürgerinitiativen und deren Bildungseinrichtungen – anzuregen, die Information und das Gespräch mit dem Bürger selbständig mit fachlicher und finanzieller Unterstützung des Bundesmi-

nisteriums für Forschung und Technologie (BMFT) durchzuführen;
- die Frage der Kernenergie-Nutzung im Gesamtzusammenhang zu diskutieren, der letztlich mit der Frage aufgeworfen ist: Wie wollen wir in Zukunft leben?

Nachdem zunächst durch eine Anzeigenserie auf dieses Informations- und Gesprächsangebot aufmerksam gemacht worden war, wurden ab 1976 und 1977 zahlreiche Seminare durchgeführt, an denen – neben Vertretern der Bundesregierung – Vertreter der Bürgerinitiativen ebenso wie Mitarbeiter der Gewerkschaften, der Elektrizitätswirtschaft und der Reaktorindustrie als Referenten beteiligt sind. Trägern der Bildungsarbeit, Parteien, Gewerkschaften, Kirchen und Bürgerinitiativen wurde Gelegenheit gegeben, unter bestimmten Bedingungen Veranstaltungen mit finanzieller Unterstützung des BMFT durchzuführen. Das Taschenbuch „Kernenergie – Eine Bürgerinformation" war dabei die wichtigste schriftliche Grundlageninformation, von der bis jetzt in zwei Auflagen nahezu 500 000 Exemplare an interessierte Bürger verteilt worden sind. In der vorliegenden dritten, neu bearbeiteten Auflage ist der Text an vielen Stellen aktualisiert. Dabei sind die Ergebnisse der öffentlichen Diskussion ebenso ausgewertet worden wie kritische und zustimmende Stellungnahmen zum Taschenbuch selbst.

In einer Vielzahl von Bürgerbriefen, Materialanforderungen und Seminaranmeldungen wird deutlich, daß das Interesse an der Information und Diskussion aller mit der Kernenergie zusammenhängenden Fragen gleichbleibend groß ist. Insgesamt sind fast 1 Million Informationsschriften an die Bürger verteilt worden.

Die öffentliche Diskussion hat dazu beigetragen, das In-

formationsniveau über alle mit der Nutzung der Kernenergie zusammenhängenden Fragen wesentlich zu verbessern und das Gespräch zu versachlichen. Die Themen der Diskussion umfassen dabei das Gesamtspektrum Energie – Wachstum – Beschäftigung – Lebensqualität.

Die Bundesregierung wird die öffentliche Diskussion über Kernenergie und ihre Alternativen auch in den kommenden Jahren fortsetzen, um die weitreichenden energie-, wirtschafts- und gesellschaftspolitischen Zusammenhänge der Kernenergie-Nutzung deutlich zu machen. Dies kann auch in Zukunft nur in einem offenen Diskussionsprozeß geschehen, in dem sowohl die Bundesregierung ihre Gründe für ihre Energiepolitik darlegt, in dem aber auch die unterschiedlichen und kontroversen Argumente zur Sprache kommen. Dabei wird es auch in Zukunft darauf ankommen, daß alle Beteiligten bereit sind, sich weiter über die vielen, komplexen wirtschaftlichen und technischen Zusammenhänge zu informieren. Insbesondere für eine realistische Einschätzung der Risiken der Kernenergie, die kaum jemand aus eigenem technischen Sachverstand ermitteln kann, kommt es darauf an, den sachlichen Informationsstand zu heben. Dazu soll auch diese Auflage des Taschenbuches dienen.

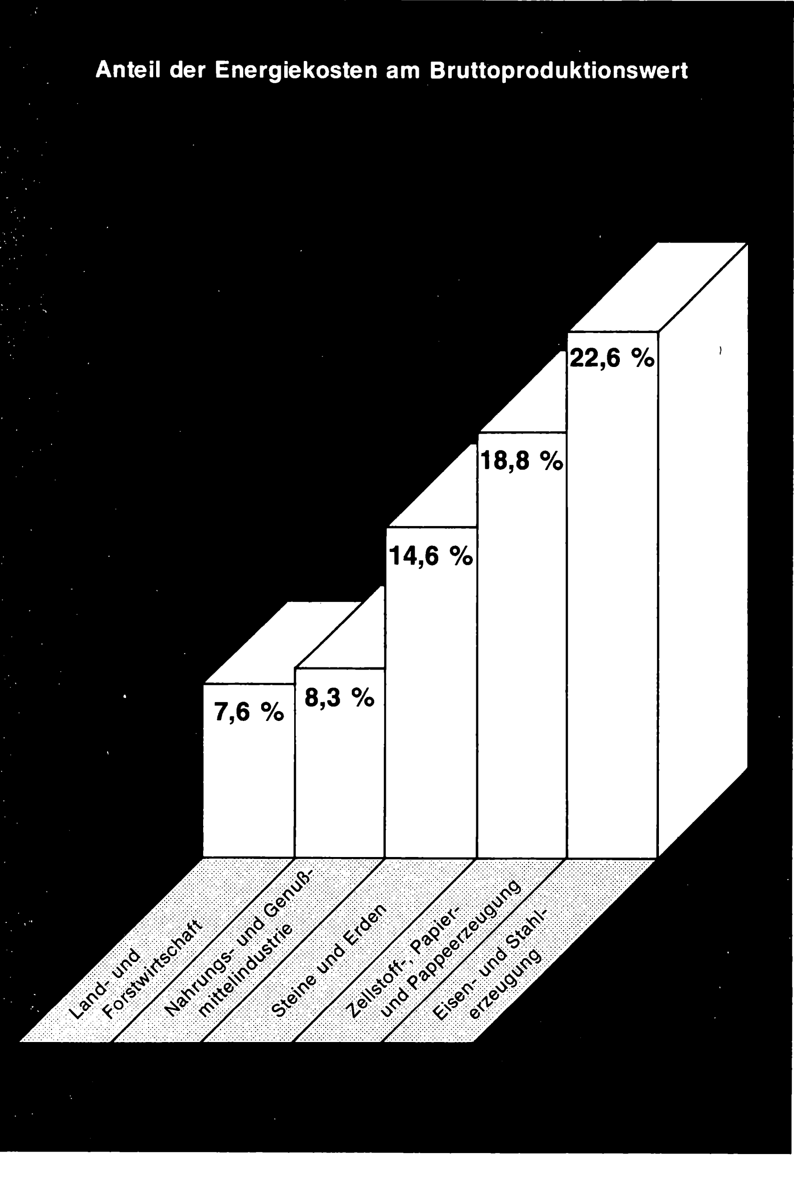
Volker Hauff
Bundesminister für Forschung und Technologie

VERZEICHNIS DER KÄSTEN UND GRAFIKEN

Unser Leben beruht in vielfältiger Weise auf Energieverbrauch: wir heizen unsere Wohnungen, wir benötigen Licht, warmes Wasser und warme Nahrung, wir kühlen Getränke oder machen Nahrungsmittel durch Gefrieren haltbar, wir fahren Auto oder Bahn. Wir verbrauchen aber auch Energie, wenn wir es gar nicht unmittelbar bemerken, denn man muß in industriellen oder handwerklichen Betrieben zerkleinern, transportieren, erhitzen, rühren, kühlen, schmelzen, verdampfen, pressen und vieles andere mehr, um z. B. Brot, Papier, Spielzeug, Autos, Möbel, Plastikartikel, Häuser, Medikamente usw. herzustellen. Unsere Gesellschaft hat sich längst auf diesen Energieverbrauch eingestellt.

Noch vor 200 Jahren wurde praktisch nur mit Holz oder Holzkohle geheizt und gekocht, Mühlen nutzten Wind- und Wasserkraft, um Korn zu mahlen, Öl wurde höchstens in Lampen verwendet. Menschliche und tierische Muskelkraft waren notwendig, um zu pflügen, Waren zu transportieren oder Metall zu verformen.

Die Änderung der Lebensverhältnisse seitdem, d. h. unser höherer Lebensstandard, ist wesentlich gestützt auf die intensive Nutzung fossiler Energiequellen, zunächst Kohle – dann immer mehr Erdöl und in den allerletzten Jahren Erdgas. In der Phase der Mechanisierung unserer Wirtschaft, der sogenannten 1. industriellen Revolution, hat dieser Energieeinsatz vielfach schwere körperliche Arbeit ersetzt; so hat sich beispielsweise der Energieeinsatz pro Arbeitnehmer in der Bauwirtschaft noch zwischen 1960 und 1973 verdreifacht. Auch in der Landwirtschaft sind noch in jüngerer Vergangenheit


Anteil der Energiekosten am Bruttoproduktionswert
7,6 %
8,3 %
14,6 %
18,8 %
22,6 %
Land- und Forstwirtschaft
Nahrungs- und Genuß-mittelindustrie
Steine und Erden
Zellstoff-, Papier- und Pappeerzeugung
Eisen- und Stahl-erzeugung

entsprechende Steigerungen des Energieverbrauchs zu verzeichnen.

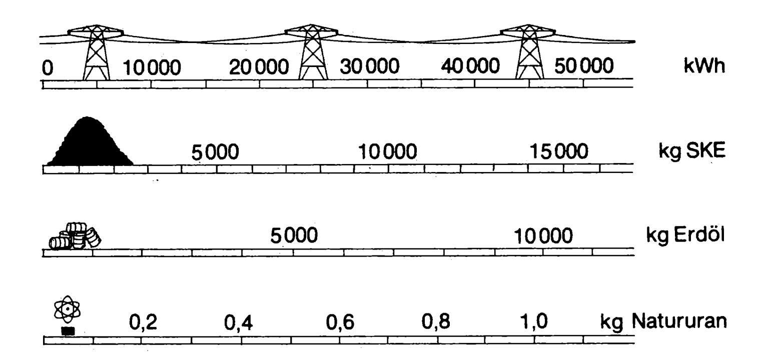
Die insbesondere durch technische Entwicklungen bedingte Möglichkeit des Menschen, bei gleicher Arbeitszeit fortwährend mehr an Gütern und Dienstleistungen zu erstellen, hat aber auch zur Folge, daß mit steigenden Einkommen auch der private Energieverbrauch stark zunimmt; größere und besser beheizte Wohnungen, Strom verbrauchende Haushaltsgeräte, zunehmende Nutzung von Autos sind nur einige Bereiche, wo der private Energieverbrauch an Heizöl, Strom oder Benzin anfällt.

Maßeinheiten für Energiemengen

Da es sich unter deutschen Energie-Fachleuten eingebürgert hat, alle Energiemengen mit der gleichwertigen Menge Steinkohle zu bemessen, verwenden auch wir in diesem Buch die Tonne Steinkohle (abgekürzt t SKE) als Einheit für Energiemengen. In der neuen Energieeinheit Joule (J) entspricht 1 t SEK = 29,3 Mrd Joule. 1 t Erdöl entspricht z. B. 1,44 t SKE, d. h. aus 1 t Erdöl ist soviel Energie zu gewinnen wie aus 1,44 t Steinkohle. Braunkohle hat einen deutlich niedrigeren Energiewert: 1 t entspricht 0,27 t SKE.

Erzeugt man mit Kohle oder Öl in einem Kraftwerk elektrische Energie („elektrischen Strom"), so kann man aus 1 t SKE etwa 3200 Kilowattstunden (abgekürzt kWh) erzeugen. Verwendet man zur Stromerzeugung Kernkraftwerke des heute üblichen Typs, die auf der Spaltung von Uran beruhen, so lassen sich aus 1 t Natururan etwa 40–50 Mio kWh erzeugen.

Die nachstehende Grafik soll eine Umrechnung zwischen den Einheiten SKE und elektrischen kWh sowie den zur Stromerzeugung erforderlichen Öl- und Uranmengen erleichtern.



Durch Vergleich der übereinander angeordneten Skalen ist ablesbar, wieviel Steinkohle-, Öl- oder Natururaneinsatz für eine bestimmte Strommenge erforderlich ist. Lesebeispiel: 0,4 kg Natururan entspricht knapp 4000 kg (also 4 t) Erdöl oder etwa 6000 kg SKE (also 6 t SKE) und ermöglicht die Erzeugung von etwa 18000 kWh Strom.

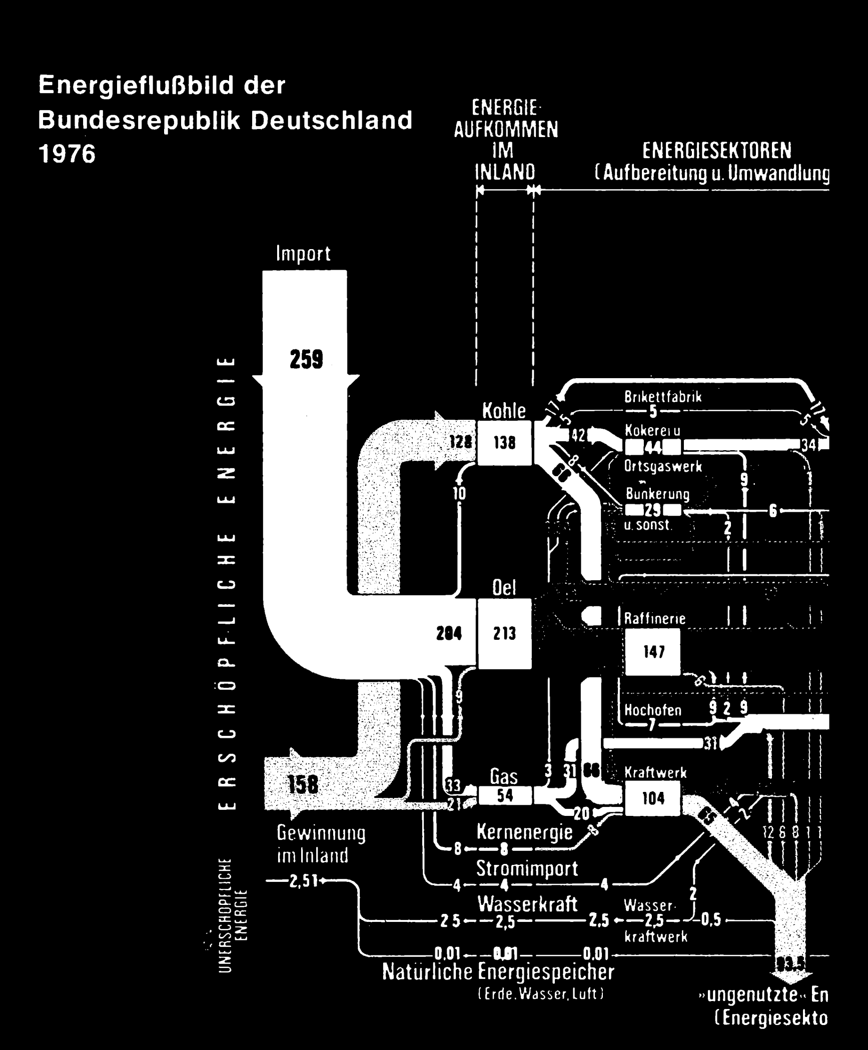
Zur anschaulichen Erläuterung: 1973 wurde in der Bundesrepublik pro Kopf der Bevölkerung eine Energiemenge verbraucht, die 6,1 t Steinkohle entspricht. Dieser Energieverbrauch entspricht – soweit man dies vergleichen kann – etwa der Arbeit von 30–40 Menschen; so viele „Energiesklaven" arbeiten also für jeden Bundesbürger. Untergliedert man nach Verbrauchsbereichen, so arbeitet ein Drittel dieser „Energiesklaven" in der Industrie an der Produktion materieller Güter, ein Fünftel im Verkehrswesen und der Rest in Haushalt, Handwerk, Handel und Verwaltung.

Steigender Lebensstandard hat andererseits zur Folge gehabt, daß die scheinbar reichlich vorhandene Energie regelrecht verschwendet wurde. Weniger in der Industrie, wo mit Energie ebenso wie mit anderen Kostenfaktoren von jeher schonender umgegangen wurde, als vielmehr im privaten Bereich verbrauchen auch heute noch die meisten Menschen Energie, ohne an die Kosten und die mit jedem Energieverbrauch verbundenen Umweltbelastungen zu denken.

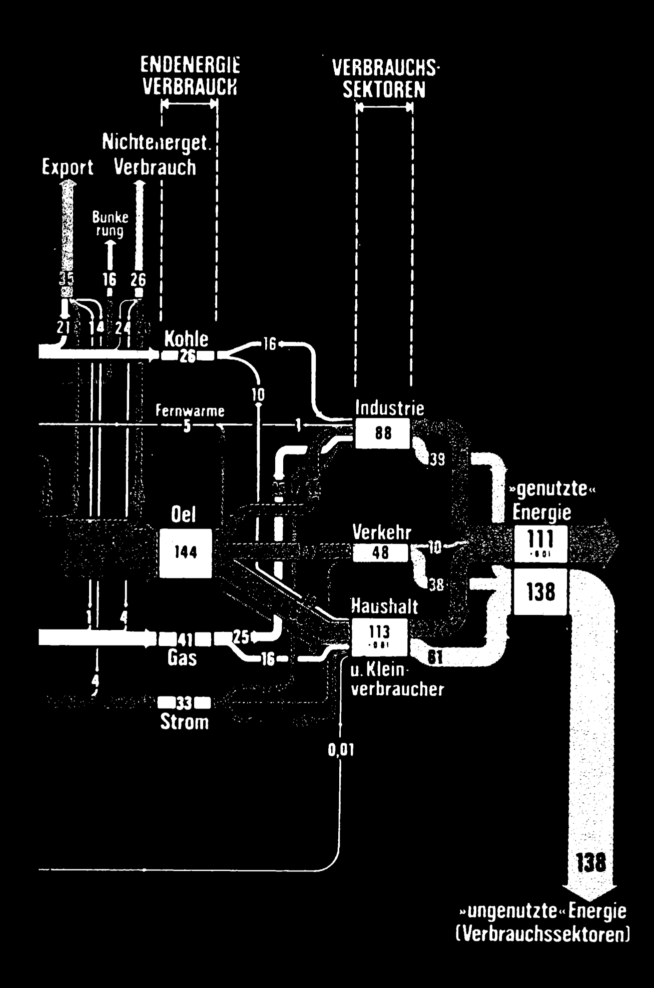
Die Erfahrung, daß eine Steigerung des Lebensstandards eine verstärkte Nutzung von Energie erfordert, andererseits aber auch zu Verschwendung verleitet, haben auch alle anderen Länder gemacht: so verbrauchen beispielsweise die USA bei etwa gleichem Lebensstandard pro Kopf doppelt soviel Energie wie die Bundesrepublik Deutschland.

In den Ländern Südasiens, Afrikas und Südamerikas haben die Menschen nicht einmal ein Zehntel der Energie zur Verfügung, die jeder Bundesbürger im Durchschnitt verbrauchen kann. Hält man sich dies vor Augen, dann hat man eine Vorstellung davon, welche Energie-Anforderungen mit zunehmender Entwicklung dieser Regionen, zugleich aber auch wegen der starken Be-

völkerungsvermehrung, schon in naher Zukunft auf die Welt zukommen. Die Ausnutzung der vorhandenen Energiequellen kann nicht mehr vorwiegend das Privileg der Industrienationen sein.



Energieeinheit 10^6 t SKE



Quelle: RWE Abt. Anwendungstechnik

Energieflußdiagramm

Das Energieflußdiagramm der Bundesrepublik Deutschland vom Jahre 1976 zeigt, welchen Weg die anfangs eingesetzte Primärenergie über Umwandlung in verschiedene Energieträger und Anwendung in verschiedenen Sektoren nimmt. Seit 1973 hat sich der Energieverbrauch infolge der starken Energieverteuerung und des nicht zuletzt dadurch begründeten weltweiten Konjunkturtiefs zunächst vermindert, die konjunkturelle Belebung 1976 hat den Energieverbrauch wieder etwa auf die Höhe von 1973 gebracht.

Der um Export und Bunkerung verminderte Energieeinsatz, also der Energieverbrauch, betrug 1973 etwa 379 Mio t SKE (1974: 366, 1975: 348, 1976: 370 Mio t SKE). Dabei stehen vor allem das Öl mit über 50 %, aber auch nach wie vor die Kohle im Vordergrund; Erdgas und Kernenergie, denen in Zukunft größere Bedeutung zukommen soll, spielen noch eine geringere Rolle.

Primärenergiequellen können nur zu einem geringen Teil wie Erdgas in ihrer ursprünglichen Form genutzt werden; sie werden vielmehr in die sogenannten Sekundärenergieträger umgewandelt: Erdöl wird in Raffinerien in verschiedene gasförmige und flüssige Brennstoffe (z. B. Benzin, Heizöl) zerlegt, Kohle in Kokereien zu Koks und Gas oder Braunkohle zu Briketts verarbeitet. Ein kleiner Teil der fossilen Primärenergien wird in Heizwerken zu Fernwärme umgewandelt. Bei der Erzeugung von elektrischem Strom, zu der alle Primärenergiequellen beitragen, ist die Kohle von zentraler Bedeutung. Der Anteil der elektrischen Energie an der

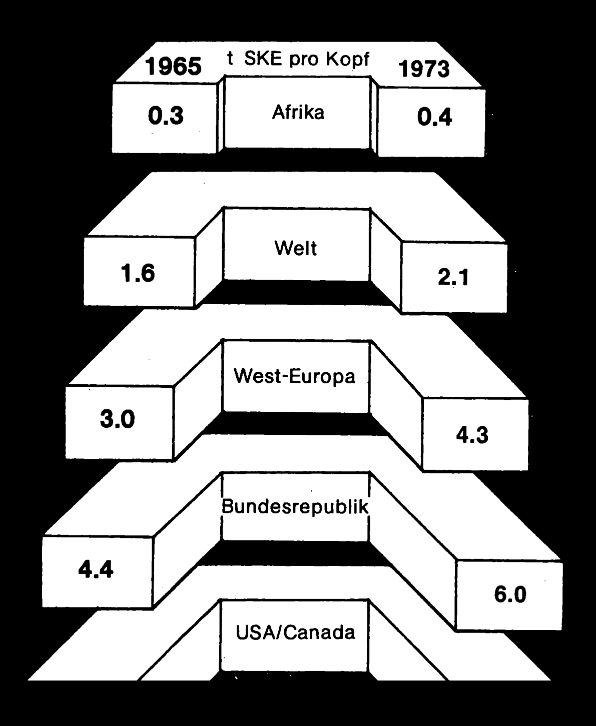
Sekundärenergie-Versorgung ist in der Vergangenheit ständig gewachsen, denn der Bedarf an elektrischer Energie hat schneller zugenommen als der Verbrauch an anderen Sekundärenergieträgern. In diesem Bereich ist deshalb die Einführung neuer Energiequellen besonders dringlich.

Die Abbildung zeigt auch, in welchem Verhältnis die verfügbaren Sekundärenergieträger in den Verbrauchersektoren Haushalt (mit Kleinverbrauch), Industrie und Verkehr eingesetzt werden. Die starke Abhängigkeit des Verkehrs, aber auch der Haushalte (hier insbesondere zur Raumheizung) und der Industrie von Mineralölprodukten ist auffallend. Ein Teil der Sekundärenergieträger – ebenfalls überwiegend Mineralölprodukte – wird als Rohstoffe in der Chemischen Industrie eingesetzt.

Zusätzliche Information darüber, wo und für welche Zwecke Energie verbraucht wird, sollen die folgenden Aufstellungen geben. In der Industrie entfallen fast zwei Drittel des Energieverbrauchs auf die Eisenschaffende Industrie, die Chemie und den Bereich Steine und Erden; nur gut ein Drittel entfällt auf die übrigen 18 Industriebereiche. Beim industriellen Stromverbrauch entfallen etwa 50 % auf die drei genannten Bereiche; wesentlicher Stromverbraucher mit etwa 10 % ist zusätzlich die Nicht-Eisen-Metallindustrie. Beim Stromverbrauch der privaten Haushalte (etwa 25 % des Stromverbrauchs, entsprechend 8 % des Primärenergieeinsatzes) entfallen auf Elektrospeicherheizung und Warmwasserbereitung jeweils ein Fünftel, auf Waschmaschinen, Kühlschränke, Gefriergeräte und Elektroherde jeweils etwa ein Zehntel, der Rest auf Spülmaschinen, Beleuchtung, Fernsehen usw.

Schließlich zeigt die Abbildung auch, welcher Teil der Energie bei der Umwandlung und Anwendung verloren geht. Bei der Umwandlung ist vor allem die Elektrizitätserzeugung durch einen niedrigen Energienutzungsgrad gekennzeichnet, dem allerdings vielfach ein hoher Nutzungsgrad bei der Anwendung gegenübersteht. Die fossilen Sekundärenergieträger sind dagegen durch geringe Verluste bei der Umwandlung, aber höhere Verluste bei der Anwendung gekennzeichnet. Besonders ungünstig ist die Situation im Verkehr. Insgesamt geht mehr als die Hälfte des ursprünglichen Primärenergieeinsatzes bei Umwandlung und Anwendung ungenutzt verloren.

Mittlerer Energieverbrauch einiger Weltregionen pro Jahr



Auch die hochindustrialisierten Länder streben weiterhin eine Verbesserung der Lebensverhältnisse am Arbeitsplatz, im Haushalt und in der Freizeit an. Sie stehen zugleich vor der Aufgabe, bei fortschreitender Rationalisierung in allen Bereichen der Wirtschaft allen Bürgern, die Arbeit suchen, einen angemessenen Arbeitsplatz zu sichern; dies ist – abgesehen von Arbeitszeitverkürzungen – nur möglich, wenn die Produktion von Gütern und die Bereitstellung von Dienstleistungen erweitert wird. Gelegentlich wird in der Öffentlichkeit die Vermutung geäußert, das Energieangebot selbst sei die Ursache für die Rationalisierung, d. h. für den Ersatz menschlicher Arbeit durch Maschinen und Automaten; für die gegenwärtig ablaufende Phase der zunehmenden Automatisierung gilt dies nicht – Ursache ist vielmehr die fortwährende Erschließung neuer technischer Möglichkeiten der Produktionsvereinfachung. Typisches Beispiel ist die elektronische Datenverarbeitung mit ihren vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten im Industrie- und Dienstleistungsbereich.

So wichtig eine ausreichende Energieversorgung für das reibungslose Funktionieren unserer Volkswirtschaft auch ist, so darf doch nicht übersehen werden, daß nicht jeder Energieverbrauch sinnvoll oder notwendig ist. Mit der Energie wird nicht immer so sparsam umgegangen, wie das angesichts der schwindenden Energievorräte der Erde und der steigenden Energiepreise geboten ist. Neue technische Entwicklungen können dazu beitragen, mit Energie schonender umzugehen.

Naturgesetzlich und technisch bedingte Verluste einerseits sowie – meist gedankenlose – Verschwendung andererseits führen dazu, daß heute weniger als die Hälfte der eingesetzten Energie schließlich für den beabsichtigten Zweck genutzt wird. Eine der größten „Energie-

Verschwendungsmaschinen" ist z. B. das Auto: nur ca. 1 von 10 Litern Benzin im Tank bewegen das Fahrzeug wirklich vorwärts, der Rest ist „überschüssige" Wärme, die durch den Auspuff und über die Kühlanlage an die Umgebung abgegeben wird.

Andere Beispiele sind schlecht isolierte Häuser oder falsch eingestellte Heizungen, wo teilweise wesentlich mehr Energie zum Heizen verbraucht wird, als für eine behagliche Raumtemperatur eigentlich notwendig wäre.

Die Bundesregierung hat bereits eine Reihe von Maßnahmen ergriffen, um zu einer rationelleren und sparsamen Verwendung der Energie zu kommen.

Das neue Energieeinsparungsgesetz und die zugehörigen Verordnungen schreiben zwingend vor, neue Häuser besser gegen Wärmeverluste zu isolieren, Heizungen energiesparender auszulegen und regelmäßig zu warten. Eine Investitionszulage von 7,5 % erhöht den Anreiz für energiesparende Maßnahmen im gewerblichen Sektor. Weitere Maßnahmen werden im Rahmen des 16-Milliarden-Programms Zukunftsinvestitionen und des Programms Energieforschung und Energietechnologien 1977–1980 gefördert; beispielhaft sei hier der Ausbau der Fernwärme genannt, die bei Nutzung von Kraftwerksabwärme nicht nur zur rationellen Energieverwendung, sondern auch zur Sicherheit der Versorgung mit Heizwärme wesentlich beitragen wird. Bei den Vorarbeiten zur 2. Fortschreibung des Energieprogramms der Bundesregierung wurden darüber hinaus weitere Schritte geprüft (und zum Teil auch schon realisiert), z. B. hinsichtlich besserer Wärmeisolation von Altbauten oder verbrauchsfördernder Elemente der bestehenden Stromtarife. Zur finanziellen Förderung von Wärmeisolationsmaßnahmen in Altbauten, von Solar-

energieanlagen und Wärmepumpen hat die Bundesregierung im September 1977 den Bundesländern ein Programm vorgeschlagen, das einen 20prozentigen Zuschuß vorsieht. Mit den vorgesehenen Mitteln von 4,35 Mrd DM für 4 Jahre würden damit über 20 Mrd DM an Investitionen angeregt, die auch für zusätzliche Beschäftigung sorgen.

Wesentlich für den Erfolg dieser Maßnahmen ist u. a. ein problembewußtes Verhalten der Verbraucher sowohl beim Kauf energieverbrauchender Geräte als auch beim Betrieb von Haushaltsgeräten oder beim Autofahren. Um ein solches energiesparendes Verhalten zu fördern, hat die Bundesregierung die Einsparmöglichkeiten untersuchen lassen und die Ergebnisse in verschiedenen Broschüren veröffentlicht.

Trotz dieses schonenderen Umgangs mit der Energie werden wir aber davon ausgehen müssen, daß der Energiebedarf auch in der Bundesrepublik Deutschland weiter wächst. Die Bundesregierung ist 1974 bei der Ersten Fortschreibung des Energieprogramms von einer Entwicklung von Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch ausgegangen, die für 1985 einen Verbrauch von 555 Mio t SKE gegenüber 380 Mio t SKE im Jahre 1973 erwarten ließ. Dies entsprach einer jährlichen Steigerungsrate von 3,2 %. Hauptsächlich verursacht durch den Konjunktureinbruch 1974/75 wird diese Zahl nach heutiger Schätzung bei 483 Mio t SKE liegen; gegenüber 1973 entspricht das nurmehr einer jährlichen Steigerungsrate von 2,2 %. Für das Jahr 2000 liegen die Bedarfsschätzungen, die im Auftrag der Bundesregierung erstellt wurden, zwischen 560 und 600 Mio t SKE. Solche Voraussagen sind mit großen Unsicherheiten behaftet. Wir können heute nicht mit ausreichender Zuverlässigkeit vorhersagen, wie sich langfristig das Wirtschaftswachstum und der Energiebedarf entwickeln

werden. Ebensowenig kann man genau abschätzen, in welchem Maße es langfristig gelingen wird, Energie sparsamer und rationeller zu verwenden, zumal aus Umweltschutzgründen (Rauchgasentschwefelung, Filter, Trockenkühlung von Wärmekraftwerken) auch gegenläufige Entwicklungen absehbar sind. Eine verantwortungsbewußte, langfristig orientierte Energiepolitik muß jedoch darauf ausgerichtet sein, einen unter realistischen Annahmen für möglich gehaltenen Bedarf auch befriedigen zu können. Auf Entwicklungen zu spekulieren, deren Eintritt nicht mit ausreichender Wahrscheinlichkeit abzusehen ist, hätte zur Folge, daß eine unzureichende Energieversorgung Wachstum und Vollbeschäftigung verhindert.

Energiepolitik

Es ist eine wichtige Aufgabe des Staates, die Energieversorgung auf lange Sicht zu günstigen volkswirtschaftlichen Gesamtkosten zu sichern. Von der Lösung dieses Problems hängen Wohlstand, soziale Sicherheit und politische Stabilität ab. In den vergangenen Jahrzehnten haben sich die Industrieländer immer mehr durch den Import von Erdöl versorgt; wie in der ganzen Welt wurde auch in der Bundesrepublik diese Energiequelle der teureren und unbequemer handhabbaren heimischen Steinkohle mehr und mehr vorgezogen. In den Jahren von 1961 bis 1973 wuchs der Anteil des Erdöls am Primärenergie-Verbrauch in der Bundesrepublik von 25 auf 55 %, 1976 betrug er 53 %. Dieser Anteil ist niedriger als in anderen europäischen Ländern, weil ein relativ hoher Anteil der Steinkohle an der Energieversorgung in der Bundesrepublik Deutschland durch energiepolitische Maßnahmen gesichert wird (Kokskohlenbeihilfe, Verstromungsgesetze). Erst die Erdöl-Versorgungskrise Ende 1973 und die sprunghaften Preiserhöhungen ließen jedermann spüren, welches Risiko man eingeht, wenn man in seiner Energieversorgung in einem großen Ausmaß abhängig wird von Ölimporten aus Ländern, die eine gemeinsame Förder- und Lieferpolitik betreiben.

Die Abhängigkeit vom Erdöl zu senken, ist daher ein wichtiges energiepolitisches Ziel. Da viele Möglichkeiten zur Einsparung von Energie gerade den Ölverbrauch vermindern könnten, ist Energiesparen auch von daher vorrangig; so verdrängt etwa eine bessere Wärmeisolation von Häusern oder auch ein Ausbau der Fernwärme leichtes Heizöl. Auch die Entwicklung und Anwendung von Sonnenenergie und Wärmepumpen können hier Entlastung bewirken. Um den Einsatz hei-

mischer Steinkohle in der Stromerzeugung zu sichern, überdies aber auch den empfindlichen Bereich der Stromversorgung von den Risiken der Ölversorgung frei zu machen, werden neue Ölkraftwerke in der Bundesrepublik in der Regel nicht mehr genehmigt; die gesetzliche Grundlage hierfür ist das 3. Verstromungsgesetz.

Eine Gesamtdarstellung ihrer energiewirtschaftlichen Einschätzungen und energiepolitischen Ziele hat die Bundesregierung erstmals 1973 vorgelegt. Dieses Energieprogramm wurde 1974 fortgeschrieben, um die von der Ölkrise 1973/74 ausgelösten neuen Entwicklungen einzubeziehen. In den Jahren 1975 und 1976 ist die gesamtwirtschaftliche Entwicklung ungünstiger verlaufen, als noch 1974 erwartet. Diese Änderung der wirtschaftlichen Situation ist der hauptsächliche Anlaß für eine Zweite Fortschreibung des Energieprogramms. Die mit dem Energieprogramm und der Ersten Fortschreibung eingeschlagene Grundausrichtung der Energiepolitik ist dabei unverändert geblieben. Um die Deckung der Energienachfrage langfristig sicherzustellen, soll der Zuwachs bei der Energienachfrage auf lange Sicht verringert und das Angebot zur Deckung der Nachfrage verbreitert werden. Dazu zielen die Maßnahmen der Zweiten Fortschreibung des Energieprogramms darauf ab,

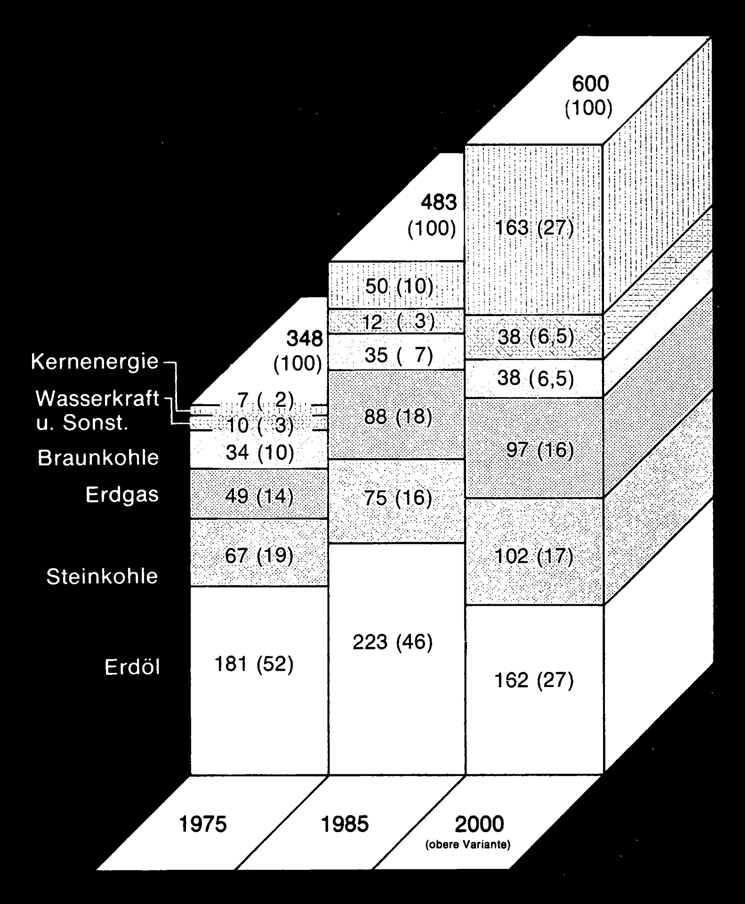
- den Zuwachs des Energieverbrauchs durch sparsame und rationelle Energieverwendung zu begrenzen
- den Mineralölanteil an der Energieversorgung zurückzudrängen
- die deutsche Stein- und Braunkohle vorrangig zu nutzen. Nur diese beiden Energieträger stehen aus eigener Förderung in ausreichender Menge zur Verfügung
- die Kernenergie in dem zur Sicherung der Stromversorgung unerläßlichen Ausmaß unter Beachtung des Vorrangs der Sicherheit der Bevölkerung auszubauen

– Importrisiken durch Streuung der Bezugsquellen, internationale Abkommen und Kooperation zu begrenzen
– die Energieforschung konsequent fortzusetzen, um alle in unserer geographischen Lage zur Verfügung stehenden Energien einzusetzen.

Die Bundesregierung hat bei drei wirtschaftswissenschaftlichen Instituten eine Prognose des Energieverbrauchs im Jahre 1985 in Auftrag gegeben. Dabei wurde ein gesamtwirtschaftliches jährliches Wachstum von 4 % im Durchschnitt der Jahre 1975 bis 1985 zugrunde gelegt. Ein Wachstum in mindestens dieser Größenordnung ist erforderlich, um eine Reihe von gesamtwirtschaftlichen Problemen, vor allem die Beseitigung der Arbeitslosigkeit und die Finanzierung des sozialen Sicherungssystems, zu lösen. Der mit dieser Wirtschaftsentwicklung verbundene Energieverbrauch wird laut Gutachten von rund 370 Mio t SKE in 1976 auf ca. 483 Mio t SKE 1985 ansteigen. In diesen Schätzwerten sind bereits die eingeleiteten Energiesparmaßnahmen berücksichtigt, was tendenziell eine Verringerung des Verhältnisses von Energieverbrauchswachstum zu Wirtschaftswachstum zur Folge hat.

Der Ölanteil könnte nach der Prognose von heute rund 53 % auf 46 % in 1985 absinken. Die Anteile der einzelnen Energieträger am Gesamtverbrauch lassen sich aus der Grafik „Prognose des Primärenergieverbrauchs der Bundesrepublik Deutschland" ablesen.
Der Einsatz der Steinkohle zur Stromerzeugung ist erstmals langfristig durch einen Zehnjahresvertrag zwischen Bergbau und Stromwirtschaft abgesichert. Die Stabilisierung des Steinkohlebeitrags setzt hohe finanzielle Aufwendungen voraus. Die finanziellen Voraussetzungen werden in der Novelle zum Dritten Verstromungsgesetz geregelt. Die zusätzlichen Kosten trägt – wie bisher – der Verbraucher durch eine Abgabe.

Prognose der energiewirtschaftlichen Institute DIW, EWI UND KWI*) des Primärverbrauchs für 1985 und 2000 in Mio t SKE (v. H.)



*) DIW: Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Berlin; EWI: Energiewirtschaftliches Institut an der Universität Köln; RWI: Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung, Essen.

Maßnahmen der Bundesregierung zur Energieeinsparung

Die bisher ergriffenen Maßnahmen zur rationellen und sparsamen Energieverwendung können wie folgt zusammengefaßt werden:

1. Haushalt und Gebäude

- Bauwettbewerb „Therma" 1974/75. Preisvergabe für bauliche Maßnahmen zur Senkung des Wärmebedarfs an elf ausgewählten typischen Wohnprojekten.
- Altbaumodernisierung im Programm zur Absicherung der regionalen und lokalen Beschäftigungsstruktur vom September 1975. 30 %iger Zuschuß zu energiesparenden Investitionen. Von 700 Mio DM Zuschüssen wurden ca. 450 Mio DM für energiesparende Investitionen vergeben. Das Gesamtinvestitionsvolumen betrug 3 Mrd DM.
- Ergänzende Bestimmungen zur DIN 4108 – Wärmeschutz im Hochbau –; Veröffentlichungen des Beiblattes zur DIN 4108 vom September 1974 durch den Deutschen Normenausschuß.
- Bund-Länder-Wohnungsmodernisierungsprogramm 1975 und 1976.
- Wohnungsmodernisierungsgesetz vom 23. August 1976, das die bisherigen Einzelprogramme zur Altbaumodernisierung ab 1. Januar 1977 ablöst. Hierzu wurde auch die Möglichkeit zur Erweiterung des Förderungskatalogs des § 82 a der Einkommenssteuer-Durchführungsverordnung geschaffen.

– Energieeinsparungsgesetz vom 22. Juli 1976.
– Wärmeschutz-Verordnung zum Energieeinsparungsgesetz; seit 1. November 1977 in Kraft.
– Heizungsanlagen- und Heizungsbetriebs-Verordnungen zum Energieeinsparungsgesetz; Inkrafttreten voraussichtlich 1978.
– § 82 a Einkommenssteuer-Durchführungsverordnung. Erhöhte Abschreibungsmöglichkeit für Umbau von Fenstern und Türen mit wärmedämmender Wirkung in Gebäuden, die vor dem 1. Januar 1957 errichtet wurden.
– § 82 b Einkommenssteuer-Durchführungsverordnung. Kosten für Erhaltungsaufwand mit energiesparender Wirkung können auf 2 bis 5 Jahre verteilt werden.
– Ab 1975 Investitionshilfen zur Energieeinsparung bei landwirtschaftlichen Betrieben nach dem Gesetz über die Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes".

2. Industrie

– § 4 a Investitionszulagengesetz in der Fassung vom 3. Mai 1977. 7,5 %ige Zulage (Steuervergünstigung) für bestimmte energiesparende Investitionen (z. B. Heizkraftwerke, Müllheizwerke, Fernwärmeleitungen, Wärmepumpen, Rekuperatoren und Regeneratoren zur Wärmerückgewinnung).
– § 4 b Investitionszulagengesetz in der Fassung vom 3. Mai 1977. 7,5 %ige Zulage für Investitionen innerhalb bestimmter Fristen, darunter auch Großprojekte von besonderer energiepolitischer Bedeutung.
– Investitionskredite der Kreditanstalt für Wiederaufbau.
– Gesetz zur Verlängerung der Heizölsteuer vom 20. Dezember 1974.

3. Bereich der öffentlichen Hand
Berücksichtigung von Einspargesichtspunkten bei der Ausführung von Hochbauten und der allgemeinen Betriebsführung (insbesondere Erlaß des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau vom 30. Januar 1974 für Hochbaumaßnahmen des Bundes mit Empfehlung an die Bauverwaltungen der Länder und Gemeinden).

4. Verbraucheraufklärung
Die bishergige Öffentlichkeitsarbeit umfaßt u. a.:
- Ausstellung eines energiesparenden Hauses u. a. in Hannover und Berlin,
- Aktion „Sprit sparen" (Computerberatung) und Verteilung von Parkscheiben mit „Sparcomputer" in Zusammenarbeit mit dem ADAC,
- Wandzeitung für kleine und mittlere Unternehmen mit Hinweisen auf Beratungsstellen,
- diverse Broschüren und Zeitschriftenbeilagen, die den privaten Haushalten Ratschläge zur Energieeinsparung geben.

5. Forschungsförderung
Rahmenprogramm Energieforschung der Bundesregierung vom Januar 1974 mit Förderschwerpunkt „Technologien zur rationellen Energieverwendung". Inzwischen Förderung von ca. 80 Vorhaben mit einem Zuwendungsvolumen von rd. 100 Mio DM (Wärmedämmung, Wärmerückgewinnung, Nutzung von Abwärme, Wärmepumpen und Fernwärme). Darüber hinaus wurden im Rahmen eines Konjunkturprogramms für Kraft-Wärme-Kopplung weitere 108 Mio DM und im Programm für Zukunftsinvestitionen 93 Mio DM sowie aus dem Programm Energieforschung und Energietechnologie 1977–1980 490 Mio DM zur Verfügung gestellt.

Eine Quantifizierung der Einsparungen ist wegen der Komplexität der den Energieverbrauch beeinflussenden Faktoren (u. a. Verbrauchsgewohnheiten, Konjunktur) äußerst schwierig.

Die Bundesrepublik Deutschland schneidet im internationalen Vergleich gut ab. Das zeigt das 1976 von der Internationalen Energieagentur (IEA) durchgeführte „Länderexamen". Besonders positiv wurden die freie Energiepreisbildung, das Energieeinsparungsgesetz sowie die hohe Effizienz des Energieeinsatzes in der Industrie bewertet.

Bei der Energieeinsparung kann allerdings kaum mit kurzfristig spürbaren Erfolgen gerechnet werden. Dies liegt vor allem daran, daß gewachsene und komplexe Produktions- und Verbrauchsstrukturen sowie Verbrauchsgewohnheiten geändert werden müssen.

Die Bundesregierung arbeitet gegenwärtig an weiteren Maßnahmen, die das vorhandene Einsparpotential bei der Erschließung der verschiedenen Energieträger, ihrer Umwandlung und Verwendung erschließen sollen. Die Maßnahmen können in der Steuerung über den Preis, in administrativen Geboten und Verboten sowie finanziellen Anreizen bestehen; welche Instrumente jeweils geeignet sind, muß im konkreten Fall entschieden werden.

Die Energiepreise sollten die langfristigen Knappheitsverhältnisse wiedergeben und dadurch zum sparsamen und rationellen Umgang mit Energie anhalten. Die gesamtwirtschaftliche Situation und die Wettbewerbsfähigkeit energieintensiver Industrien müssen berücksichtigt werden.

Über die bisher genannten Maßnahmen hinaus hat die Bundesregierung in der Zweiten Fortschreibung des Energieprogramms u. a. vorgesehen:

1. Haushalt
- Förderung von Investitionen zur Verbesserung der Wärmedämmung und der Anlagen zur Beheizung sowie Warmwasserbereitung in bestehenden Gebäuden und/oder gesetzliche Auflagen; Förderung von Wärmepumpen und Solarkollektoren auch in privaten Wohngebäuden.
- Abbau von mietrechtlichen Hemmnissen für energiesparende Investitionen (z. B. verbrauchsgerechte Abrechnung).
- Verstärkung energiesparender Elemente in den Stromtarifen ohne Vernachlässigung der notwendigen Kostenorientierung (z. B. Abschaffung des Grundpreistarifs II in seiner derzeitigen Form).
- Kennzeichnung des Energieverbrauchs von Haushaltsgeräten.

2. Industrie
- Erweiterung des § 4 a Investitionszulagengesetz (Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung, Anpassung der Investitionsförderung an die technologische Entwicklung).
- Förderung des Ausbaus der Fernwärme (im Rahmen des Programms für Zukunftsinvestitionen ist hierbei bis 1980 ein Investitionsvolumen von 2,33 Mrd DM vorgesehen).
- Förderung der Markteinführung energiesparender technologischer Verfahren und Produkte.
- Verbesserung der Beratung kleiner und mittlerer Unternehmen über Energieeinsparung.

3. Verkehr

– Konstruktive Verbesserungen der Motoren.
– Verbesserung der Information des Verbrauchers über seinen effektiven Benzinverbrauch (Änderung der DIN für den Verbrauch und serienmäßiger Einbau von Benzinverbrauchsanzeigern).

4. Verbraucherberatung

– Verstärkung der Öffentlichkeitsarbeit.
– Aufbau einer unabhängigen Beratung.

5. Weitere Maßnahmen

– Erhöhung der Steuer auf leichtes Heizöl.
– Unterstützung der Bestrebungen zur besseren Ausnutzung der Kraft/Wärmekopplungsmöglichkeiten in der Industrie (Nutzung von Prozeßdampferzeugern zur Stromerzeugung).
– Änderung des Mineralölsteuergesetzes mit dem Ziel der Erleichterung des Einsatzes von Dieselmotoren zur Strom- und Wärmeerzeugung.

Fossile Energiequellen

Die Energieversorgung der Bundesrepublik muß sich angesichts der technischen Gegebenheiten auch im nächsten Jahrzehnt noch überwiegend auf die Verwendung der fossilen Energiequellen Erdöl, Erdgas und Kohle stützen. Dabei ist die Verringerung des Mineralölverbrauchs besonders dringlich. Die Schnelligkeit aber, mit der wir uns vom Mineralöl weniger abhängig machen können, wird von Verfügbarkeit und Einsatzmöglichkeiten der anderen Energiequellen sowie von der Bereitschaft der Öffentlichkeit bestimmt, eine Politik der rationellen Energieverwendung zu tragen. Nach der ersten Fortschreibung des Energieprogramms und aktuelleren Abschätzungen reichen diese anderen Energiequellen einschließlich der Kernenergie auch bei rationeller Energieverwendung nicht aus, um den Erdölverbrauch bis 1985 bei steigendem Energieverbrauch mengenmäßig zu senken. Die beabsichtigte Verminderung des Erdölanteils von 53 % (1976) auf 46 % (1985) bedeutet immer noch eine gewisse Zunahme der benötigten Erdölmenge bis 1985.

Wie problematisch selbst dieser nur mäßig ansteigende Erdölverbrauch ist, zeigt sich bei einer Betrachtung der noch vorhandenen Vorräte der Erde: die billig auszubeutenden Erdölvorräte unserer Erde werden knapp. Die heute bekannten Vorräte betragen etwa 100 000 Mio t, das ist lediglich 40mal soviel wie 1974 auf der Welt verbraucht wurde. Auch wenn manche Fachleute es für möglich halten, daß noch unentdeckte Vorräte von 500 000 Mio t vorhanden sind, ist wegen des steigenden Bedarfs und der zunehmenden Kosten für das Aufspüren, die Erschließung und die Ausbeutung dieser vermuteten Reserven damit zu rechnen, daß Öl bereits in absehbarer Zeit knapp und nur zu höheren Kosten ge-

winnbar wird; Fachleute rechnen damit, daß die ölproduzierenden Länder schon Ende der 80er Jahre die Ölförderung nicht mehr erhöhen werden. Gleichzeitig dürften gerade die Länder der Dritten Welt ohne eigene Energierohstoffe für ihre Industrialisierung, den Ausbau ihres Transportsystems und den Lebensstandard ihrer Bevölkerung mehr Öl benötigen, so daß die Industriestaaten in diesem Zeitraum bereits sinkenden Öleinsatz erreichen müssen, wenn es nicht zu gefährlichen Verteilungskonflikten kommen soll.

Diese vorhersehbare Entwicklung verschärft auch die Frage, ob der Rohstoff Öl nicht doch zu kostbar ist, um etwa zur Heizung von Wohnungen verbrannt zu werden. Schließlich beruht auch ein wesentlicher Teil unserer Kunststoff- und Arzneimittelproduktion auf Öl oder Ölprodukten.

Erdgas kann als relativ umweltfreundliche und auf mittlere Sicht versorgungsicherere Energiequelle Mineralöl in gewissem Umfang (bei Heizung und Warmwasserbereitung) ersetzen; es ist deshalb vorgesehen, den Erdgasverbrauch – außer bei der Stromerzeugung – wesentlich zu erhöhen.

Jedoch werden auch die Weltvorräte an Erdgas derzeit nur auf das 30- bis 70fache des Weltverbrauchs 1974 geschätzt. Da die Bundesrepublik selbst nur geringe Vorkommen besitzt, gilt für Erdgas hinsichtlich der Versorgungsmöglichkeiten und der Preisentwicklung langfristig ähnliches wie für Erdöl.

Die bekannten wirtschaftlich gewinnbaren Kohlevorräte der Welt sind etwa viermal so groß wie bei Erdöl oder Erdgas. Die quantitativen Angaben über die deutschen Steinkohlevorräte schwanken erheblich. In einer Aufstellung der Ölenergiekonferenz wurden z. B. die

abbauwürdigen Steinkohlevorräte mit rd. 30 Mrd t ermittelt, während eine Studie der Bundesanstalt für Geowissenschaft und Rohstoffe 6–12 Mrd t zu heutigen wirtschaftlich-technischen Bedingungen für abbauwürdig hält. Damit könnte unser heutiger Kohleverbrauch noch für mindestens 60, wahrscheinlich aber für 100 bis 300 Jahre aufrechterhalten werden; eine Erhöhung der Kohleförderung würde diesen Zeitraum entsprechend verkürzen. Die deutsche Steinkohle ist zwar teuer und nur unter schwierigen Arbeitsbedingungen zu gewinnen, sie ist aber als heimischer Rohstoff krisensicher. Deshalb hat die Bundesregierung Maßnahmen zur Sicherung des Steinkohleabsatzes in der Elektrizitätswirtschaft sowie in der Eisen- und Stahlindustrie ergriffen. Für die Elektrizitätsversorgung sollen bis 1987 jährlich durchschnittlich rund 33 Mio t Steinkohle „verstromt" werden. Hand in Hand damit soll eine Verbesserung der Bergbautechnik und der Arbeitsbedingungen der Bergleute gehen. Die Mehrkosten, die durch den Einsatz der Steinkohle in der Elektrizitätswirtschaft entstehen, werden nach dem 3. Verstromungsgesetz durch einen prozentualen Aufschlag auf den Strompreis von allen Stromverbrauchern aufgebracht.

Eine Erhöhung des Einsatzes deutscher Steinkohle würde zur weiteren Erhöhung des durchschnittlichen Energiepreises führen. Auch die Einfuhrmöglichkeiten sind unter dem Gesichtspunkt der Versorgungssicherheit begrenzt, wenn auch einige Staaten mit kostengünstig abbaubaren Kohlevorräten, wie z. B. die USA, die Kohleförderung für den Eigenbedarf wesentlich zu erhöhen planen. Eine wesentliche Ausweitung der heimischen Produktion würde den Aufschluß neuer Schachtanlagen notwendig machen, die frühestens in zehn Jahren die erste Kohle liefern könnten. Zu bedenken bleibt ferner, daß in diesem Falle die Steinkohlevorräte der Bundesrepublik auch eher erschöpft wären und erheb-

liche Kostenprobleme, insbesondere wegen der erforderlichen Auflagen zum Schutze der Umwelt, entstehen würden.

Die Braunkohle ist zur Zeit nach der Steinkohle die wichtigste heimische Primärenergiequelle in der Bundesrepublik. Ihre Förderung dient ganz überwiegend der Elektrizitätserzeugung unmittelbar im rheinischen Revier westlich von Köln. Man kann davon ausgehen, daß die Förderung der Braunkohle von 34 Mio t SKE im Jahre 1975 bis 1985 noch leicht gesteigert wird; trotzdem wird ihr Anteil am gesamten, schneller wachsenden Primärenergieverbrauch von zehn (1975) auf sieben Prozent sinken. Die Kapazität der bestehenden Braunkohletagebaue ist durch diesen Versorgungsanteil voll ausgelastet. Neue Tagebaue im rheinischen Braunkohlerevier werden gegenwärtig erschlossen, können aber erst nach 1985 zur Produktion beitragen. Sie werden im wesentlichen die dann erschöpften heutigen Abbaustätten ersetzen. Insgesamt werden die aus heutiger Sicht abbauwürdigen Vorkommen im rheinischen Revier noch auf 10 bis 35 Mrd t geschätzt, das entspricht dem Energiegehalt nach etwa 3 bis 10 Mrd t SKE.

Insgesamt ist der Einsatz von Öl und Kohle mit erheblichen Belastungen der Umwelt verbunden. Durch den Einsatz beträchtlicher finanzieller Mittel für neue technische Umweltschutzmaßnahmen können das bei der Verbrennung frei werdende Schwefeldioxid (SO_2) und der Staub weitgehend zurückgehalten werden. An manchen Stellen verbietet allerdings die Vorbelastung der Atmosphäre den Bau von Steinkohlekraftwerken. Neue Techniken zur umweltfreundlichen und wirtschaftlicheren Steinkohleverstromung müssen daher entwickelt und demonstriert werden. Für Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Elektrizitätserzeugung aus Kohle werden von 1977–80 etwa 350 Mio DM

eingesetzt. Das schließt die Demonstration von Verfahren und Komponenten für konventionelle Kraftwerke, wie Verbesserung der Rauchgasentschwefelung, Stickoxidminderung und Verbesserung der Entstaubung ebenso ein wie die Entwicklung fortgeschrittener Verstromungskonzepte, z. B. von Anlagen mit Wirbelschichtfeuerung unter Druck, Kohledruckvergasung und das Kohleumwandlungsverfahren. Bei den fortgeschrittenen Verfahren kann die Gasturbine im Steinkohlekraftwerk eingesetzt werden, was höhere Wirkungsgrade erlaubt. Es bleibt aber eine nicht zu verhindernde ständige Abgabe von Kohlendioxid (CO_2) an die Luft. Seine Konzentration in der Erdatmosphäre steigt nachweisbar an. Diese CO_2-Konzentration ist zwar für Mensch und Tier ungiftig, beeinflußt aber die Sonneneinstrahlung und die Wärmeabgabe der Erde an den Weltraum. Wissenschaftler warnen deshalb vor einer weiteren Erhöhung des CO_2-Anteils der Luft, da diese langfristig zu schwer übersehbaren Klimaveränderungen führen könnte.

Für eine größere Sicherheit unserer Energieversorgung ist es wünschenswert, die heimische Stein- und Braunkohle nicht nur in der Elektrizitäts- und Stahlerzeugung, sondern langfristig auch in solchen Energieverbrauchsbereichen einsetzen zu können, die heute vor allem Erdöl und Erdgas vorbehalten sind. Deshalb wird von der Bundesregierung unter Einsatz erheblicher Mittel die Entwicklung von Verfahren zur Kohlevergasung und -verflüssigung gefördert. Da mit diesen Verfahren in der Regel auch eine Entschwefelung und Entaschung der Kohle verbunden ist, sind die gewonnenen Produkte relativ umweltfreundlich. Mit Hilfe von synthetischem Erdgas oder flüssigen Treibstoffen wie Methanol aus Kohle könnte der aus heimischen Quellen stammende Anteil an unserer Gas- und Treibstoff-Versorgung wenigstens in bescheidenem Umfang gesteigert werden.

Kohleveredelung

Stein- und Braunkohle sind – auch langfristig – unsere wichtigsten heimischen Energieträger. Um sie trotz gestiegener Anforderungen an den Umweltschutz und den Komfort beim Verbrauch weiter und so sinnvoll wie möglich nutzen zu können, wird es zunehmend wichtig, aus Kohle nicht nur elektrischen Strom, sondern auch umweltfreundliche gasförmige oder flüssige Energieträger herzustellen, die in den verschiedensten Verbrauchssektoren zum Einsatz kommen könnten. So könnte z. B. künstliches Erdgas aus Kohle in die Gasversorgungsnetze eingespeist oder flüssiger Treibstoff für Kraftwerke oder Verkehr gewonnen werden.

Die Herstellung von flüssigen Treibstoffen aus einem aus Kohle gewonnenen Gas wird heute kommerziell in der Welt nur in Südafrika betrieben, in einem Land, dessen besonders preisgünstige Kohle dies ermöglicht. Anlagen zur Hydrierung, d. h. zur direkten Gewinnung von flüssigen Energieträgern aus Kohle gibt es nur im Versuchs- und Pilotmaßstab.

In Deutschland wurden früher bereits Anlagen zur Verflüssigung und Vergasung von Kohle industriell betrieben; sie wurden jedoch bei Kriegsende demontiert oder später aus wirtschaftlichen Gründen stillgelegt. Die heutigen Technologien und Entwicklungen bauen weitgehend auf den in der Vergangenheit gesammelten Erfahrungen auf.

Mit dem Energieforschungsprogramm werden für die Entwicklung von Verfahren zur Kohlevergasung in den Jahren 1977–1980 etwa 230 Mio DM aufgewendet. Das

Ziel ist die Herstellung von künstlichem Erdgas und Synthesegas für den Einsatz in der chemischen Industrie. Mehrere Pilotanlagen gehen 1978 in Betrieb. Verschiedene Vergasertypen sind auch für die Schwachgaserzeugung geeignet. Diese Vergaser können in einem Kraftwerk mit kombiniertem Gas/Dampfturbinenprozeß zur umweltfreundlichen und wirtschaftlicheren Steinkohleverstromung eingesetzt werden. Die Testprogramme dieser Prototyp- und Pilotanlagen werden Anfang der achtziger Jahre abgeschlossen sein. Wenn die Entwicklung erfolgreich verläuft, können sich größere Demonstrationsanlagen anschließen, die etwa Mitte der achtziger Jahre in Betrieb gehen könnten.

Die Hydrierung der Kohle zu flüssigen Produkten wie Öl oder Benzin wird in Deutschland mit Laboranlagen und Studien neu aufgegriffen. Für 30 Mio DM wird mit Unterstützung der Bundes- und der Landesregierung des Saarlandes eine Pilotanlage aufgebaut. Die technischen und finanziellen Voraussetzungen für den Bau einer Anlage mit 200 t Tageskapazität werden zur Zeit von der Landesregierung von Nordrhein-Westfalen in Zusammenarbeit mit der Industrie geschaffen.

Mit 60 Mio DM wurde es einer deutschen Firmengruppe ermöglicht, sich an einer amerikanischen Demonstrationsanlage zu beteiligen und notwendige Erfahrungen zu sammeln. Diese Anlage wird frühestens 1982 die Produktion aufnehmen.

In einem umfangreichen Versuchsprogramm läßt die Bundesregierung derzeit die Verwendung von Methanol als Kraftfahrzeug-Treibstoff testen. Dieses Methanol könnte später aus Kohle gewonnen werden.

Neue Energiequellen

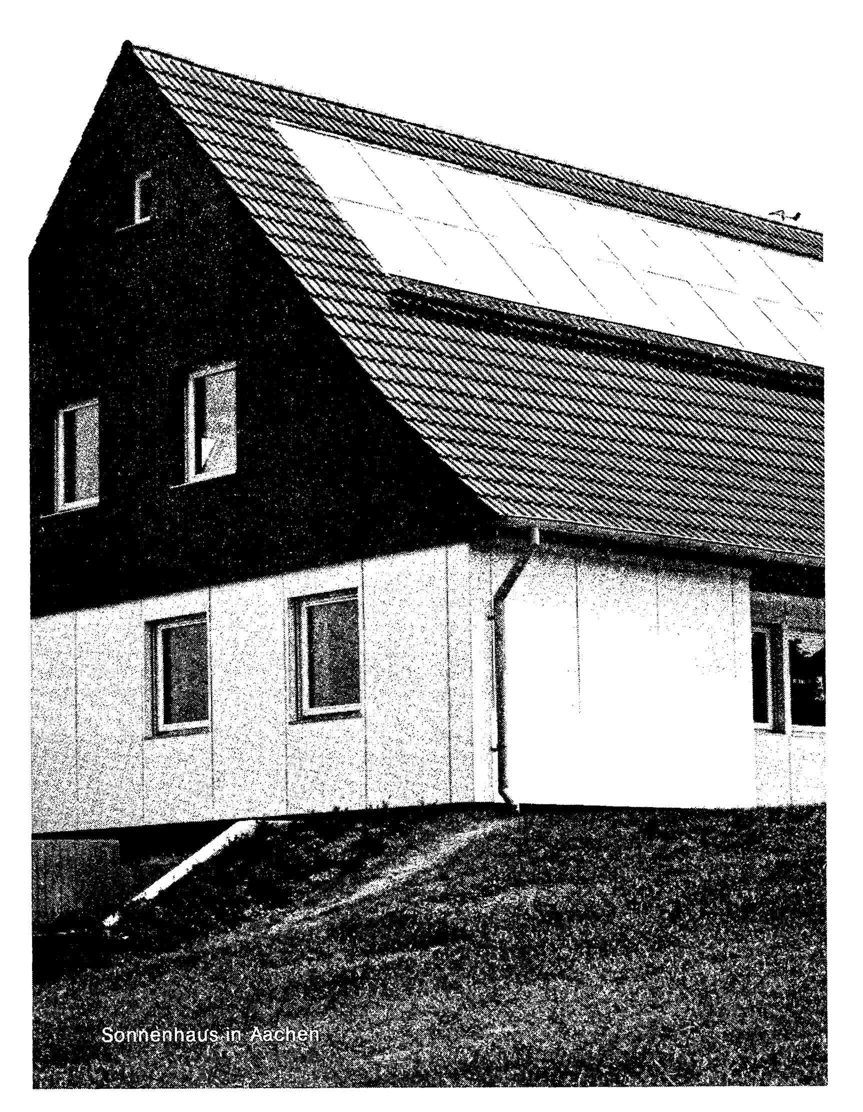
Die Erkenntnis, daß die heute vorherrschenden Energiequellen in absehbarer Zukunft nicht mehr zur Dekkung des Weltenergiebedarfs ausreichen, führte dazu, daß die Erschließung neuer Energiequellen seit langem eines der wichtigsten Ziele der anwendungsorientierten Forschung ist.

Das Potential zur Nutzung der Wasserkraft ist in industrialisierten Ländern weitgehend ausgeschöpft. In der Bundesrepublik Deutschland werden bis zum Jahre 1985 voraussichtlich 100 % der wirtschaftlich nutzbaren Laufwasserkraft genutzt werden. Diese Energiequelle wird daher in ihrer Bedeutung für die Energieversorgung der Bundesrepublik mit steigendem Energiebedarf abnehmen. Im Jahre 1974 wurden durch Wasserkraft nur noch 6,7 % der Bruttostromerzeugung in Kraftwerken der Öffentlichen Versorgung gedeckt. Dies entspricht einem Potential von ca. 5 Mio t SKE/Jahr (rund 15 Mrd KWh_e/Jahr).

Unter den verschiedenen anderen Möglichkeiten, in technischen Prozessen natürliche Vorräte und Vorgänge für die Energieversorgung nutzbar zu machen, konzentriert sich die Forschung heute auf diejenigen Energiequellen, von denen unter annehmbaren ökonomischen und ökologischen Bedingungen Beiträge zur Energieversorgung erwartet werden können. Dabei steht trotz der kurzen Zeit der Entwicklungsarbeiten die direkte Sonnenenergienutzung im Vordergrund des Interesses. Besonders aussichtsreich ist dabei in Mitteleuropa die Nutzung der Sonnenenergie zur Bereitstellung von Wärme, zunächst zur Warmwasserversorgung und in einem weiteren Schritt auch zur dezentralen Heizwärmeversorgung von Gebäuden. Bei der Um-

wandlung in Elektrizität (entweder mit Hilfe von Fotozellen, die in der Weltraumforschung erfolgreich eingesetzt werden oder über thermische Umwandlung) sind die Aussichten für eine wirtschaftliche Nutzung in Mitteleuropa gering, das Potential für Anwendungen zu speziellen Zwecken oder in anderen Regionen mit höheren Einstrahlungsdichten jedoch beachtlich.

Eine quantitative Bewertung des wirtschaftlich nutzbaren Sonnenenergiepotentials in der Bundesrepublik Deutschland ist schwierig, es existieren deshalb nur sehr grobe Abschätzungen. Systemanalytische Untersuchungen haben unter Berücksichtigung der technischen und wirtschaftlichen Randbedingungen für das Jahr 2000 einen möglichen Energiebeitrag ergeben, der etwa dem Drei- bis Vierfachen der heutigen Energieerzeugung aus Laufwasser entspräche.



Sonnenhaus in Aachen

Das Bild zeigt einen Querschnitt durch das Solar-Energie-Experimentierhaus Aachen. Es enthält im Erdgeschoß den vollständig eingerichteten Wohnbereich einer vierköpfigen Familie. Durch Verbesserung der Wärmeisolation der Wände und Fenster sowie Verringerung der unkontrollierten Lüftungsverluste konnte der Bedarf an Heizenergie auf ein Drittel dessen eines gut isolierten Hauses reduziert werden. Das kann durch Sonnenenergie und durch Wärmepumpen gedeckt werden. 20 m^2 besonders wirkungsvolle Sonnenkollektoren geben ihre Energie an einen Wärmespeicher im Keller ab. Eine Wärmepumpe (WP) gewinnt die Energie der Abwässer zurück und kann über einen Wärmetauscher unter der Kellersohle dem Erdreich Energie entziehen und mit einer Temperatur von 50 Grad dem Warmwasserkreislauf zuführen. Eine poröse Wand, vor der Kelleraußenwand angebracht, kühlt im Sommer bzw. erwärmt im Winter die dem Haus zugeführte Frischluft. Ein Computer (Dachgeschoß) steuert die einzelnen Energiesysteme, simuliert den Energieverbrauch einer Durchschnittsfamilie, sammelt die anfallenden Daten und bereitet sie auf. Ziel des Vorhabens ist es, das thermische Verhalten eines Hauses unter realistischen Bedingungen und bei verschiedenen Betriebszuständen des Energiesystems zu erfassen. Die gewonnenen Meßergebnisse dienen als Ausgangsbasis für ein Systemmodell, von dem erwartet wird, daß es Ansatzpunkte für die Optimierung von integrierten Energiesystemen bietet.

Sonnenenergie

Die Sonnenenergie hat langfristig die großen Vorteile, nicht an Ressourcen der Erde gebunden zu sein und keine zusätzliche Wärme- oder Schadstoffbelastung der Erde, sondern nur eine regionale Veränderung der Energiebilanz zu verursachen. Die auf dem Gebiet der

Bundesrepublik Deutschland eingestrahlte Energiemenge entspricht etwa dem 80fachen des derzeitigen Primärenergieeinsatzes. Nur ein geringer Teil davon ist unter den derzeit absehbaren technisch-wirtschaftlichen Bedingungen nutzbar.

Die wichtigsten Randbedingungen für die technische Nutzung sind
- die relativ geringe Energiedichte der Sonnenstrahlung in der Bundesrepublik Deutschland (max. etwa 1000 Watt/m^2, im Jahresmittel ca. 110 Watt/m^2)
- die Schwankungen der Energiedarbietung je nach Tageszeit, Wetter und Jahreszeit, die im wesentlichen entgegengesetzt zu den Energiebedarfsschwankungen laufen.

Aus dem zweiten Grund ist die Sonnenenergieforschung eng mit anderen Bereichen der Energietechnik, vor allem der Entwicklung leistungsfähiger Langzeitspeicher für Wärme und Elektrizität, verbunden.

Sonnenenergie kann technisch genutzt werden durch
- fotothermale Konversion zur Wärmeversorgung
- fotovoltaische oder fotothermale Konversion zur Elektrizitätserzeugung
- biologische und chemische Konversion zur Erzeugung von Kohlenwasserstoffen
- fotolytische Konversion zur Wasserstofferzeugung.

Der überwiegende Teil des Energiebedarfs der Bundesrepublik Deutschland wird in Form von Wärme in Haushalt und Industrie benötigt. Diesem Niedrigtemperaturbereich (bis 200° C) kommt bei der Nutzung der Sonnenenergie in unseren Breiten deshalb besondere Bedeutung zu. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten konzentrieren sich auf die Entwicklung von Systemen, die es gestatten, Sonnenenergie mit hohem Wir-

kungsgrad wirtschaftlich zur Wärmeversorgung zu nutzen. Durch die nach dem Rahmenprogramm Energieforschung 1974–77 eingeleiteten Maßnahmen konnten in diesem Bereich wesentliche technologische Fortschritte erzielt werden.

Voraussetzung für eine breitere Nutzung solarer Heizungssysteme ist eine technische und kostenmäßige Optimierung. Hierzu gehört die Ermittlung der günstigsten Werkstoffe und Isolationsmaßnahmen, auch im Hinblick auf die Gewährleistung einer ausreichenden Lebensdauer der Anlagen. Darüber hinaus ist zur Leistungssteigerung von Kollektorsystemen eine verstärkte Forschung für selektive Kollektorbeschichtungen sowie Untersuchungen auf dem Gebiet des Systemverhaltens erforderlich.

F & E-Projekte auf dem Gebiet der Speicherung zielen auf die Bereitstellung möglichst kompakter, kostengünstiger und wartungsarmer Mittel- und Langzeitspeicher. Der Mangel an ausgereiften Speichern stellt das Hauptproblem bei der Nutzung der Sonnenenergie zur Raumheizung dar.

Da für die Brauchwasserbereitung das Speicherproblem nicht von gleicher Bedeutung ist, kann man davon ausgehen, daß innerhalb der nächsten Jahre die wirtschaftliche Reife solarer Warmwasserbereitungsanlagen erreicht werden kann.

Für solare Hausheizungssysteme liegt das Schwergewicht der F & E-Aktivitäten in den Bereichen
- technische und wirtschaftliche Integration der entwickelten Speicher in das System „Hausheizung"
- Entwicklung und Optimierung von Hybridsystemen, bei denen ein Teil des Wärmebedarfs durch herkömmliche Heizungen gedeckt wird

- Entwicklung von Heizungssystemen mit möglichst geringer Vorlauftemperatur.

Mit der fortschreitenden Entwicklung soll die Integration solarer Nutzungssysteme in die bestehende Haustechnik und Architektur demonstriert werden. Versuchsanlagen und Demonstrationsobjekte sollen auch zum Vergleich unterschiedlicher Kollektoren und Speicher herangezogen werden oder dem Nachweis der Qualifikation eines Prototyps zur Markteinführung dienen.

Windenergie

Die Abschätzung des Windenergiepotentials in der Bundesrepublik Deutschland zeigt, daß bis zur Jahrtausendwende höchstens einige wenige Prozentpunkte des Strombedarfs und weniger als 1 % des Jahresprimärenergieverbrauchs mit Windenergie gedeckt werden können, wenn wirtschaftliche Maßstäbe zugrunde gelegt werden.

Der technologische Wissensstand über Windkraftanlage ist sehr weit entwickelt. Für die wirtschaftliche Energiegewinnung aus Wind hält man heute folgende zwei Entwicklungsrichtungen für erfolgversprechend:

- Darrieus-Rotor. Diese Anlage mit vertikaler Drehachse arbeitet unabhängig von der Windrichtung und ist verhältnismäßig einfach aufgebaut. Diese Vorzüge lassen sie besonders für Entwicklungsländer geeignet erscheinen.
- Horizontalachsen-Anlagen. Dieser Typ ist in vielen Exemplaren erprobt. Die technische Entwicklung hat den Rotor mit zwei oder drei Blättern als optimale Lösung für den Bau von Großanlagen ausgewiesen.

Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf diesen beiden Gebieten werden mit Mittel aus dem Programm Energieforschung und Energietechnologien 1977–1980 gefördert. Um dem öffentlichen Interesse entsprechend, der Forschung auf dem Gebiet der Sonnenenergie einen großen Stellenwert zu verleihen, wurden die entsprechenden Forschungsziele und -schwerpunkte in einem engeren Programm „Technologien zur Nutzung der Sonnenenergie 1977–1980" dargelegt. Für die Nutzung der Windenergie in der Bundesrepublik Deutschland steht hier die Entwicklung von Großanlagen mit einer Leistung von 2–3 Megawatt im Vordergrund, die im Verband mit dem Stromnetz betrieben werden sollen. Begleitend hierzu werden Arbeiten durchgeführt, die eine Bewertung des Windenergieangebots als Voraussetzung für eine optimale Anpassung von Windenergieanlagen vornehmen sowie die Einpassung der Windenergie in bestehende Versorgungsstrukturen untersuchen.

Bei der wirtschaftlichen Bewertung der Windenergie darf nicht übersehen werden, daß als wesentlicher Kostenfaktor die erforderliche Energiespeicherung oder die Vorhaltung entsprechend großer Kraftwerkskapazitäten in die Kalkulation eingeht, die für Zeiten der Windstille einen Zusammenbruch des Stromnetzes verhindern müssen. Der Windenergienutzung sind von seiten des Landschaftsschutzes und der Umweltbeeinträchtigung Grenzen gesetzt. Rund 30 000 Windkraftwerke – jedes auf einem Mast von 80–90 Metern Höhe montiert mit einem Rotordurchmesser von mehr als 100 Metern – würden dem für 1990 technisch und wirtschaftlich möglichen Versorgungsbeitrag der Kernkraftwerke entsprechen. Diese Anlagen müßten aufgrund der günstigen Windverhältnisse in Norddeutschland errichtet werden und würden dort voraussichtlich zu einer Beeinträchtigung des Rundfunk- und Fernsehempfangs, des

Funkverkehrs sowie des Landschaftsbildes führen. Dennoch könnten diese Anlagen Kraftwerkskapazitäten anderer Art wegen der ungelösten Speicherprobleme nicht ersetzen, nur deren Auslastung verringern.

Geothermische Energie

Die latente und stetig noch durch natürliche radioaktive Zerfallsprozesse entstehende Wärme des Erdkörpers stellt ein erhebliches Energiepotential dar. Beispielsweise ergibt sich alleine aufgrund der Temperaturdifferenz zwischen Erdinnerem und der Erdoberfläche ein ständiger Wärmestrom, der global betrachtet größer ist als der derzeitige Weltenergieverbrauch.

Weltweit wird zur Zeit die geothermische Energie in bescheidenem Umfang zu Heizzwecken und zur Stromerzeugung genutzt, allerdings nur im Bereich geothermischer Anomalien, d. h. Zonen mit unverhältnismäßig hoher Wärmestromdichte. Aufgrund der hohen Bohrkosten ist die wirtschaftliche Nutzung der Erdwärme heute nur in diesen Gebieten möglich.

Das Potential an geothermischen Anomalien ist in der Bundesrepublik Deutschland gering. Insbesondere gibt es nach den heutigen Kenntnissen kaum nennenswerte Vorkommen, bei denen ausreichende Wassermengen in durchlässigen, tiefen Erdschichten vorhanden sind. Die Erdwärmenutzung hat daher nur eine Chance, falls es gelingt, im trockenen, heißen Untergrund künstliche geothermische Systeme zu erzeugen. Hierbei muß das Gestein in der Tiefe gespalten und die dort gespeicherte Wärme durch Einpressen von Wasser als Wärmeträger ausgebracht werden. Untersuchungen dieser Art werden sowohl national über das Programm Energieforschung und Energietechnologien als auch in internationaler Zusammenarbeit im Rahmen der Energiepro-

gramme der Europäischen Gemeinschaften, der IEA und der NATO gefördert. Die bisher vorliegenden Ergebnisse über die technische Durchführbarkeit reichen für eine Aussage über das mit dieser Methode zu erschließende, wirtschaftlich nutzbare Potential noch nicht aus. Abschätzungen ergeben, daß der Beitrag der Erdwärme zum Gesamtenergiebedarf in der Bundesrepublik Deutschland um die Jahrtausendwende weniger als 1 Prozent betragen wird.

Vor einer Beurteilung der großtechnischen Nutzung der geothermischen Energie bedarf es auch der Klärung der damit möglicherweise verbundenen Umwelt- und Sicherheitsprobleme, die z. B. durch den beträchtlichen Wasserverbrauch, die eventuell ausgebrachten Schadstoffe und die Gefahr der Auslösung von Erdbeben durch die punktuelle Abkühlung des Untergrundes entstehen können.

Wärmepumpen

Mittels Wärmepumpen kann man Umgebungswärme zu Heizzwecken nutzen. Die der Umgebung (z. B. Erdreich, Wasser oder Luft) entzogene Wärme wird dabei auf Heiztemperaturniveau „hochgepumpt", so wie bei jedem Kühlschrank Wärme von dem tiefen Temperaturniveau im Inneren auf das höhere Temperaturniveau der Umgebung gebracht werden muß. Die auf Heiztemperaturniveau verfügbare Wärmemenge beträgt bei guten Geräten ein Mehrfaches der für den Wärmepumpenbetrieb benötigten Elektrizitätsmenge, so daß trotz der Abwärmeverluste im Kraftwerk und der Stromtransportverluste an nicht zu kalten Tagen etwa so viel Heizwärme nutzbar ist, wie dem Primärenergieeinsatz zur Erzeugung des verbrauchten Stroms entspricht. Man erreicht allerdings weder mit Wärmepumpen noch bei Solarheizung die üblichen Heizwassertemperaturen

von Ölheizungen, so daß spezielle großflächige Heizkörper in den Wohnräumen notwendig sind. Wie weit Wärmepumpen künftig zum Einsatz kommen, hängt hauptsächlich vom Preisanstieg bei Öl und Gas sowie von der weiteren technischen Entwicklung, insbesondere im Hinblick auf eine Senkung der Herstellungs- und Installationskosten ab. Eine noch sparsamer mit Energie haushaltende Technik wäre die mit Gas oder Öl betriebene Wärmepumpe; ihr Entwicklungsstand hinsichtlich Kosten und dezentralem Einsatz in Wohnhäusern ist allerdings weniger fortgeschritten.

Kernfusion

An der Beherrschung der Kernfusion – der Verschmelzung von Atomkernen des Wasserstoffes – arbeiten große Forscherteams auch in der Bundesrepublik seit vielen Jahren mit wachsendem Aufwand. Welche Energien hier zur Verfügung stehen könnten, zeigt uns die Sonne, deren Energie durch Kernverschmelzung entsteht. Daß Menschen in der Lage sind, diesen Vorgang selbst in Gang zu setzen, ist seit dem Bau der Wasserstoffbombe bewiesen. Bislang ist es jedoch noch nicht gelungen, die Energie, die bei diesem Vorgang frei wird, in dafür geeigneten Anlagen zu friedlichen Zwecken zu nutzen. Bis zur Klärung der Frage, ob und wie der erste Fusionsreaktor gebaut werden kann, der mehr Energie abgibt, als er verbraucht, wird noch viel Zeit und Geld benötigt werden. Dazu sind auch noch außerordentlich schwierige technologische Probleme, insbesondere Materialfragen zu lösen. Fachleute schließen aus, daß die Kernfusion noch in diesem Jahrhundert eine Rolle für die Energieversorgung spielen kann. Solange wesentliche Konstruktions- und Materialfragen noch offen sind, können auch keine Aussagen über die Sicherheits- und Umweltaspekte der Kernfusion, geschweige denn über ihre Wirtschaftlichkeit gemacht werden.

Zweifellos wird aber auch die Kernverschmelzung erhebliche Probleme durch Radioaktivität und Abwärme aufwerfen.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die Zeitspanne überschaubar wird, in der die herkömmlichen Energiequellen unseren heutigen Energiebedarf und erst recht einen weiter wachsenden Bedarf noch befriedigend decken können. Es ist deshalb besonders dringend geworden, Entwicklung und Einführung neuer Energiequellen zu beschleunigen. Es gibt mehrere Technologien, die heute große Erwartungen in ihre Nutzungsmöglichkeiten und deshalb auch hohe staatliche Aufwendungen zu ihrer Entwicklung rechtfertigen. Aber nur die Kern(spaltungs)-Energie ist soweit entwikkelt, daß sie sicher verfügbar ist und in die konkreten Planungen für die künftige Energieversorgung einbezogen werden kann.

Die Atome, die Bausteine unserer Welt, bestehen aus dem Atomkern und einer ihn umgebenden Hülle aus elektrisch negativ geladenen Teilchen, Elektronen genannt. Der Atomkern besteht aus den positiv geladenen Protonen und den elektrisch neutralen Neutronen. In der Regel befinden sich in der Hülle des Atoms ebenso viele Elektronen wie Protonen in seinem Kern: das Atom ist elektrisch neutral. Schwere Atomkerne können durch Beschluß mit Neutronen gespalten werden. Dabei werden große Energiemengen freigesetzt. Da sich diese Energiefreisetzung ausschließlich im Kern des Atoms abspielt, sprechen Physiker nicht von Atom-, sondern von Kernenergie.

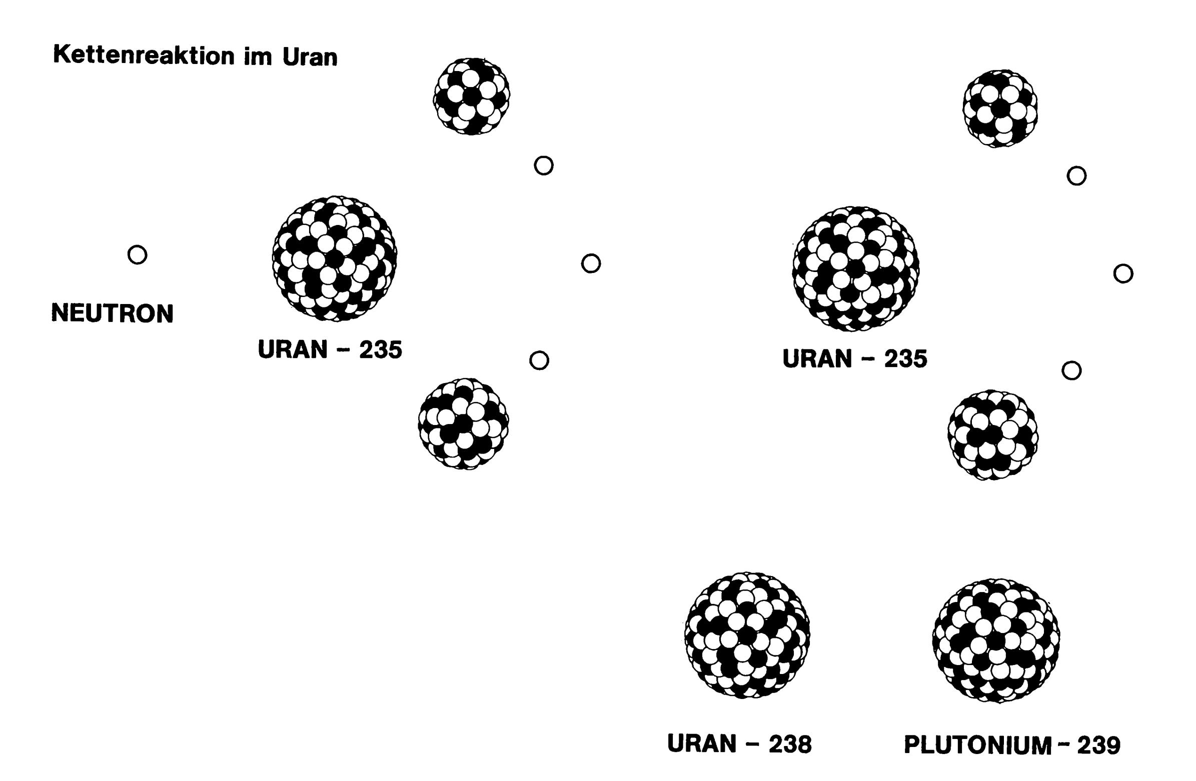
Die verschiedenen chemischen Elemente unterscheiden sich im Aufbau ihrer Atome; ihr chemisches Verhalten wird von der Zahl der Elektronen bestimmt, die im neutralen Atom der Zahl der Protonen im Atomkern entspricht. Die Zahl der Neutronen kann bei ein und demselben Element variieren, ohne daß sich die chemischen Eigenschaften ändern; man spricht dann von „Isotopen" des betreffenden Elementes.

Uran (Abkürzung U) ist das schwerste in der Natur vorhandene Element; es kommt im wesentlichen in zwei Isotopen vor: als U-235, dem leichteren Isotop mit 92 Protonen und 143 Neutronen, und als U-238, dem schwereren Isotop mit 92 Protonen und 146 Neutronen. Natur-Uran besteht zu 0,7 % aus U-235 und zu 99,3 % aus U-238. Im wesentlichen sind es die Eigenschaften des leichteren Uran-Isotops, also des U-235, auf denen heute die praktische Nutzung der Kernspaltung zur Energiegewinnung beruht. Dieser Kern kann durch den Einfang langsamer Neutronen gespalten werden. Bei

einer solchen Spaltung wird aber nicht nur Energie frei, die letztlich als Wärme in Erscheinung tritt, sondern es entstehen auch 2–3 freie Neutronen. Diese Neutronen können weitere Kerne spalten, wobei jeweils wieder 2–3 freie Neutronen entstehen usw. Durch eine solche Kettenreaktion werden ständig Uran-Kerne gespalten; damit wird auch fortwährend Wärme-Energie freigesetzt. Voraussetzung ist nur, daß von jeder Kernspaltung im Mittel gerade eines der zwei bis drei freigesetzten Neutronen in einem anderen spaltbaren Uran-Kern wieder zur Spaltung führt. Eine Kettenreaktion kann also nicht eintreten oder herbeigeführt werden, wenn zu viele Neutronen anderweitig verlorengehen.

In einem Reaktor des heute in der Bundesrepublik üblichen Typs wird der Reaktorkern, in dem sich die mit Uranoxid gefüllten Brennstäbe befinden, von Wasser durchströmt, um die erzeugte Wärmeenergie ständig abzuführen. Dieses Kühlmittel fängt einen Teil der in den Spaltprozessen freigesetzten Neutronen weg. Da auch das Uran-238 der Kettenreaktion Neutronen entzieht, muß das Mischungsverhältnis von Uran-235 und Uran-238 im Reaktor größer sein als im natürlich vorkommenden Uran. Um in einem solchen Reaktor eine Kettenreaktion aufrechterhalten zu können, dürfen auf 1 Uran-235-Atomkern nur etwa 30–40 Uran-238-Atomkerne kommen, nicht aber 140 wie im Natur-Uran. Deshalb ist eine Anreicherung des Uran-235 von 0,7 % auf etwa 3 % erforderlich, die in speziellen Anreicherungsfabriken durchgeführt wird.

Kettenreaktion im Uran



Auch die Wirkung von Atombomben beruht auf der Eigenschaft des Uran-235 und anderer spaltbarer Stoffe, bei der Spaltung Energie abzugeben und durch freigesetzte Neutronen eine Kettenreaktion zu ermöglichen. Anders als in einem Sprengsatz fehlt es jedoch in einem Reaktor an den Voraussetzungen für eine ungehemmte Kettenreaktion, die in kürzester Zeit lawinenartig anwächst und zu einer Detonation führt. Denn dazu bedürfte es nicht nur eines Spaltstoffs aus fast reinem Uran-235 oder Plutonium-239, sondern auch eines Druckmantels, der den Spaltstoff für eine gewisse Zeit auf engstem Raum zusammenhält. In keinem Reaktor sind diese beiden Bedingungen erfüllt. Ein Kernreaktor ist deshalb keine „gezähmte Atombombe". Auch bei einem Versagen technischer Einrichtungen kann es keine nukleare Explosion geben.

Die Energiegewinnung aus Kernspaltung bringt jedoch Probleme und Gefahren mit sich, die nur durch einen hohen Aufwand an Sicherheitsvorkehrungen gemeistert werden können. Ursache dieser Gefahren ist die Radioaktivität, insbesondere die der Bruchstücke – auch Spaltprodukte genannt –, die bei der Kernspaltung entstehen. Zusätzlich verwandeln die Neutronen, die nicht auf einen Uran-235-Kern treffen, andere vorhandene Atomkerne im Brennstoff, im umgebenden Hüll- und Strukturmaterial und im Kühlwasser ebenfalls in radioaktive Elemente. Besonders hervorzuheben ist der schon erwähnte Vorgang, daß ein Uran-238-Kern von einem Neutron getroffen wird; hierbei entsteht nämlich durch anschließenden radioaktiven Übergang Plutonium. Dieses chemische Element, das in der Natur praktisch nicht vorkommt, ist einerseits als nuklearer Brennstoff nutzbar, also wie Uran-235 spaltbar, stellt aber andererseits ein gefährliches, stark radioaktives Gift dar.

Nutzen und Risiko der Kernenergie sind also gleicher-

maßen im Kernspaltungsvorgang begründet: die Freisetzung großer Energie und die gleichzeitige Produktion radioaktiver Stoffe.

Radioaktivität

Manche Stoffe senden spontan und ohne äußeren Einfluß eine energiereiche Strahlung aus, die ihren Ursprung in den Atomkernen hat; solche Stoffe nennt man radioaktiv. Überall in der Natur gibt es solche radioaktiven Stoffe. Uran, Thorium und Radium sowie ein spezielles Isotop des Kaliums sind in der Erdkruste weit verbreitet. Im Erdinneren ist die Radioaktivität der Materie sogar so stark, daß die ständig frei werdende Strahlungsenergie das Erdinnere bis heute im Zustand einer heißen Schmelze hält.

Es gibt im wesentlichen drei Arten von Strahlung radioaktiver Atome:

- die Alpha-Strahlung, bei der der radioaktive Atomkern Heliumatomkerne (sogenannte Alpha-Teilchen) hoher Geschwindigkeit aussendet
- die Beta-Strahlung, bei der der radioaktive Atomkern Elektronen (sogenannte Beta-Teilchen) aussendet
- die Gamma-Strahlung, bei der der radioaktive Atomkern eine sehr energiereiche elektromagnetische Wellenstrahlung abgibt; diese Gamma-Strahlung unterscheidet sich von der in der Medizin angewandten Röntgen-Strahlung nur durch ihre höhere Energie.

Alle drei Strahlenarten ionisieren die Atome des Stoffes, in den sie eindringen, d. h. sie versetzen sie in einen elektrisch geladenen Zustand. Sie werden daher auch ionisierende Strahlen genannt. Beim Ionisierungsvorgang verliert die Strahlung an Energie, die auf das bestrahlte Material übergeht. Daher schirmen Wände ausreichender Dicke diese Strahlung wirksam ab; Blei ist ein besonders wirkungsvolles Abschirmmaterial.

Die Strahlungsaktivität eines radioaktiven Stoffes nimmt mit einer für jeden Stoff charakteristischen „Halbwertzeit" (HWZ) ab. Das ist die Zeit, nach der die Hälfte der Atomkerne ihre Strahlung abgegeben hat. Die Radioaktivität klingt also ab, nach 10 Halbwertzeiten etwa auf ein Tausendstel ihres Anfangswertes. Die Halbwertzeiten verschiedener radioaktiver Stoffe können sehr unterschiedlich lang sein – von mehr als vielen Milliarden Jahren bis zu weit weniger als Milliardstel-Bruchteilen von Sekunden.

Radioaktive Stoffe entstehen auch auf künstlichem Wege, z. B. bei der Kernspaltung oder durch Bestrahlung von nicht-radioaktiver Substanz mit sehr energiereichen Teilchen. Ein Großteil der im Kernkraftwerk entstehenden radioaktiven Stoffe hat so kurze Halbwertzeiten, daß ihre Radioaktivität schon vor Verlassen des Reaktors abgeklungen ist. Es entstehen allerdings auch gefährliche radioaktive Stoffe mit großen Halbwertzeiten, so daß ihr sicherer Abschluß von der Biosphäre, also dem Bereich der Erde, in dem Leben anzutreffen ist, für einige Zehntausende von Jahren notwendig ist.

Die ionisierende Wirkung der Strahlung natürlicher wie künstlicher radioaktiver Stoffe ist die Ursache ihrer Gefährlichkeit für Leben und Gesundheit bestrahlter Lebewesen und ihrer Nachkommen. Diese Strahlen können nämlich Zellen abtöten oder ihre Erbinformation verändern, so daß Krebs, Leukämie und Mißbildungen bei Nachkommen die Folgen sein können. Wie wahrscheinlich solche Folgen sind, hängt wesentlich von der Intensität ab, mit der der Organismus bestrahlt wird.

Das Kernkraftwerk

Reaktortechnik

Kernkraftwerke werden heute gebaut, um elektrischen Strom zu erzeugen; sie tun dies insofern wie herkömmliche Kraftwerke, als auch hier Dampf eine Turbine antreibt, deren Drehenergie in einem Generator in elektrische Energie überführt wird. Im Unterschied zu herkömmlichen, also mit Kohle, Öl oder Gas betriebenen Kraftwerken entsteht die Wärmeenergie zur Erzeugung und Erhitzung des Dampfes durch Kernspaltung im Reaktor und nicht durch Verbrennung der genannten fossilen Energieträger.

Bisher sind viele verschiedene Reaktortypen entwickelt und erprobt worden; sie unterscheiden sich z. B. nach Zusammensetzung und Anordnung des Brennstoffs und nach dem Kühlmittel. In der Bundesrepublik sollen die Ziele des Energieprogramms im wesentlichen durch Reaktortypen verwirklicht werden, die normales Wasser als Kühlmittel im Reaktorkern verwenden („Leichtwasserreaktoren"). Dafür gibt es zwei unterschiedliche Konzeptionen: den Druckwasserreaktor und den Siedewasserreaktor.

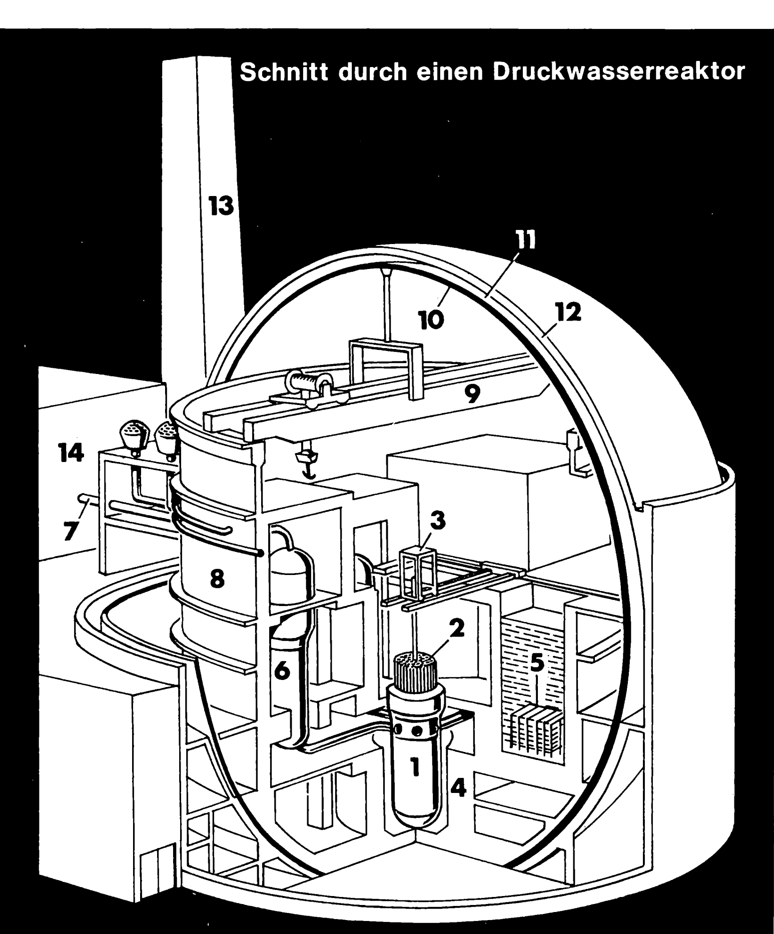
Den Teil des Reaktors, in dem die Spaltung der Urankerne stattfindet, nennt man Reaktorkern. Dort befindet sich der Kernbrennstoff, eingeschlossen in metallischen Rohren. Diese bilden die Brennstäbe, die ihrerseits zu Brennelementen zusammengesetzt sind. Diese Brennelemente können als Einheit eingesetzt und z. B. zum „Auftanken" (Nachladen) eines Reaktors ausgewechselt werden. Zwischen den Brennstäben hindurch strömt Wasser und nimmt die durch Kernspaltung in

den Brennstäben erzeugte Wärme auf, d. h. es kühlt den Reaktorkern (Primär-Kühlmittel).

Bei Leichtwasserreaktoren ist der Kern von einem Stahlbehälter umgeben (Reaktordruckbehälter), der hohen Drücken standhalten muß. Ein Druckwasserreaktor arbeitet mit einem so hohen und stets gleichbleibenden Druck (etwa 160 Atmosphären), daß das Primär-Kühlmittel trotz hoher Temperatur nicht verdampfen kann. Es wird vielmehr über Rohrleitungen in einen Wärmetauscher (Dampferzeuger) geleitet, wo es seine im Reaktorkern aufgenommene Wärme an einen zweiten Wasserkreislauf abgibt und dort den Wasserdampf erzeugt, der die Turbine antreibt. Auf diese Weise im Dampferzeuger abgekühlt, wird das Primär-Kühlmittel wieder in den Reaktorkern zurückgepumpt, ohne mit dem zweiten Wasserkreislauf (Sekundärkreislauf) direkt in Berührung gekommen zu sein.

Beim Siedewasserreaktor wird der Druck des Kühlmittels im Reaktorkern niedriger gehalten (etwa 70 Atmosphären), so daß es schon im Druckbehälter teilweise verdampfen kann. Dieser Dampf wird unmittelbar auf die Turbine geleitet, dann wieder kondensiert und als Wasser in den Reaktorkern zurückgepumpt.

Wie bei allen Wärmekraftwerken muß beim Kondensieren des die Turbine antreibenden Dampfes ein Großteil der im Kraftwerk erzeugten Wärme an ein externes Kühlsystem abgegeben werden (Abwärme).



1	Reaktordruckgefäß (Stahl)	**8**	Betonzylinder
2	Steuerstabantriebe	**9**	Krananlage
3	Lademaschine	**10**	Sicherheitsbehälter (Stahl)
4	Biologischer Schild (Beton)	**11**	Luftspalt
5	Brennelementlagerbecken	**12**	Betonhülle
6	Dampferzeuger	**13**	Abluftkamin
7	Frischdampfleitung (zur Turbine)	**14**	Maschinenhaus

Schnelle Brutreaktoren (SBR)

Im Gegensatz zu Leichtwasserreaktoren (LWR) arbeiten schnelle Brutreaktoren nicht mit abgebremsten Neutronen, sondern unmittelbar mit den bei der Kernspaltung entstehenden „schnellen" Neutronen. Wie im LWR entsteht im SBR durch Umwandlung von Uran-238 spaltbares Plutonium-239 – allerdings mit weit größerer Häufigkeit. Nach einer anfänglichen Betriebsphase benötigen Schnelle Brutreaktoren keine Anreicherung von Uran-235 im Brennstoff mehr, sie können vielmehr das inzwischen erbrütete Plutonium-239 verbrennen, das aus dem über 100fach häufigeren Uran-238 entsteht. Dadurch entsteht eine etwa 60fach bessere Ausnutzung der Uranvorräte in Vergleich zu LWR. Schnelle Brüter könnten deshalb die Versorgung mit elektrischer Energie langfristig sichern.
Der Reaktorkern eines Brüters besteht aus zwei Zonen: der inneren „Spalt"-Zone, die 20–25 % Plutonium enthält, und dem äußeren Brutmantel, der im wesentlichen aus Natur-Uran oder abgereichertem Uran besteht. Brennstoff und Brutmaterial befinden sich dabei ähnlich wie beim LWR in Tablettenform in stählernen Hüllrohren, die sich als Brennelementbündel in Stahlbehältern befinden. Das Verhältnis von Brenn- und Brutelementen bestimmt die Energieausbeute und die Brutrate des Reaktors; Gewinne auf der einen Seite (mehr Elektrizität) führen zu Einbußen auf der anderen (weniger Plutonium). Auch beim kommerziellen elektrischen Leistungsbetrieb kann ein Brutreaktor jedoch Brutraten von ca. 1,2 erreichen, d. h. er produziert mehr Kernbrennstoff (aus Uran-238), als er an Plutonium-239 ver-

braucht. Brutreaktoren können sich also selbst und weiteren Kernkraftwerken den Brennstoff herstellen. Nur für den Anfangsbetrieb benötigt man mit U-235 angereichertes Uran oder zusätzliches Plutonium, das jedoch aus dem Betrieb von LWR in ausreichender Menge zur Verfügung steht. Auch in anderer Hinsicht ergänzen Brüter die LWRs gut: sie können das bei der Urananreicherung in großen Mengen anfallende „abgereicherte" Uran als Brutstoff verwenden, das bei der U-235-Anreicherung als „Abfall" entsteht und eine riesige, praktisch unbegrenzte heimische und gesicherte Energiequelle für die Bundesrepublik Deutschland darstellt.

Da Brutreaktoren mit schnellen Neutronen arbeiten, können sie als Kühlmittel nicht Wasser verwenden, das beim Leichtwasserreaktor gleichzeitig die Neutronen abbremst. Unter den verschiedenen Möglichkeiten der Kühlung (z. B. mit Gas oder Dampf) haben sich alle Länder, die Brüterentwicklung betreiben, für Natrium entschieden. Natrium ist ein Metall, das oberhalb ca. 100° C flüssig ist, aber erst bei etwa 900° C siedet.

Die Sicherheitsvorkehrungen bei Brütern sind im Grundsatz denen bei LWRs ähnlich. So gibt es auch hier mehrfache konstruktive Barrieren für den Einschluß des radioaktiven Materials, ein Reaktorschutzsystem und das Prinzip der Redundanz und Diversität bei der Auslegung der für die Sicherheit wichtigen Systeme.

In mancher Hinsicht unterscheiden sich jedoch die Sicherheitsfragen von Brütern und LWR. Dabei bringen die besonderen physikalischen und chemischen Eigenschaften des Kühlmittels Natrium Vorteile (gute Wärmetransporteigenschaften, kein hoher Druck im Reaktor) und Nachteile (Gefahr von Natrium-Reaktionen mit Wasser oder Luft) mit sich, so daß hier spezifische Si-

cherheitsmaßnahmen erforderlich, aber auch technisch realisierbar sind. Besondere Sicherheitsmaßnahmen werden gegen den Fall getroffen, daß sich nach einem evtl. Schmelzen des Reaktorkerns neue kritische Massen bilden können. Dadurch ist sichergestellt, daß auch bei einem Brutreaktor selbst der schlimmste vorstellbare Störfall nicht zu einer nuklearen Explosion führen kann.

Insgesamt genügen Brutreaktoren bei entsprechenden Sicherheitsmaßnahmen den gleichen Sicherheitsanforderungen wie LWR. Dies ist in der Bundesrepublik Deutschland auch Voraussetzung für die Genehmigung des Brutreaktor-Prototyps SNR 300 bei Kalkar at dniederrhein. Dieses Kraftwerk mit 280 MWe, das von der Bundesrepublik Deutschland gemeinsam mit Belgien und den Niederlanden errichtet wird, kann frühestens 1982 in Betrieb gehen.

Übersicht über Entwicklung und Bau von Brutreaktoren

Anlage	Land	Leistung (MWe)	Betriebsbeginn
Versuchsreaktoren			
EBR I/EBR II	USA	0,2/20	1951/1965
DFR	GB	15	1962
Rapsodie (Fort.)	F	(40 th)	1967
BR-5/BOR 60	UdSSR	(5 th) / 20	1960/1969
KNK I/KNK II	D	20	1973/1977
JOYO	JAP	(100 th)	1977
FFTF	USA	(400 th)	1979
Leistungsreaktoren			
BN 350	UdSSR	150	1973
Phénix	F	233	1974
PFR	GB	254	1974
BN 600	UdSSR	600	1979
SNR 300	D	295	1982
Super Phénix	F	1200	1982
CRBR	USA	350	1984
Monju	JAP	300	1985

Das Tempo der Markteinführung der Schnellen Brutreaktoren wird u. a. von der Möglichkeit erweiterter internationaler Kooperation beeinflußt, die 1976/77 in Europa gute Fortschritte gemacht hat.

In den USA hat die Regierung gegen eine baldige Markteinführung Bedenken erhoben. Sie möchte aus Gründen der Nichtverbreitung von Atomwaffen den kommerziellen Umgang mit Plutonium auf unbestimmte Zeit verschieben. Wegen der energiepolitischen Bedeutung des Brutreaktors wird aber seine Entwicklung mit großem Aufwand weiter betrieben.

In Europa, wo im Unterschied zu den USA weder umfangreiche Natururanvorkommen noch billige Kohle verfügbar sind, ist mit einem fühlbaren Beitrag von Schnellen Brutreaktoren zur Stromerzeugung frühestens in den 90er Jahren zu rechnen. In der Bundesrepublik Deutschland ist allerdings noch keine Entscheidung über die kommerzielle Nutzung dieser Technologie gefallen; sie wird aufgrund der politischen, insbesondere der parlamentarischen Willensbildung erst in den 80er Jahren getroffen werden.

Hochtemperatur-Reaktoren (HTR)

Hochtemperatur-Reaktoren (HTR) unterscheiden sich in ihrer Konstruktion erheblich von den Leichtwasserreaktoren (LWR). Ihr Kühlmittel ist gasförmiges Helium, das jedoch nicht wie das Wasser beim LWR auch die Funktion des „Moderators" als bremsendes Medium für die bei der Spaltung frei werdenden schnellen Neutronen übernehmen kann. Diese Aufgabe übernimmt beim HTR Graphit, in dem der Brennstoff in Gestalt kleiner Körnchen eingebettet ist. Die Graphit-Brennelemente haben bei dem in der Bundesrepublik Deutschland entwickelten Reaktorkonzept die Form tennisballgroßer Kugeln, bei der amerikanischen Konstruktion die Gestalt vielfach durchbohrter Blöcke. Der Brennstoff besteht bei dem System mit dem niedrigsten Uranverbrauch aus hochangereichertem Uran (also fast reinem Uran-235) und Thorium, das als Brutstoff dient. Aus Thorium wird während des Betriebs des Reaktors Uran-233 „erbrütet", das ebenso wie Uran-235 als Kernbrennstoff geeignet ist. HTRs können deshalb Thorium als zusätzliche Kernbrennstoffquelle erschließen und damit den Uranbedarf senken. Im Gegensatz zum schnellen Brutreaktor können sie aber nicht mehr Brennstoff erzeugen, als sie verbrauchen; sie werden deshalb nicht als „Brüter", sondern als „Konverter" bezeichnet. HTRs benötigen für den Uran-Thorium-Brennstoff-Zyklus eine andere Wiederaufarbeitungstechnologie als LWRs und Brüter. Sie vermeiden dabei weitgehend das Plutonium-Problem, verwenden und produzieren jedoch Uran-233, dessen Handhabung aber auch nicht unproblematisch ist – sowohl im Hin-

blick auf den notwendigen Strahlenschutz als auch bei der Verhinderung weiterer Verbreitung von Atomwaffen.

Nach einer anderen technischen Konzeption können HTRs auch mit weniger angereichertem Uran ohne Thorium betrieben werden; damit werden zwar die chemischen Prozesse bei der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente denen im LWR-Brennstoffkreislauf ähnlicher, doch bleibt – wie bei allen HTRs – das Problem der Entwicklung eines völlig neuen ersten Wiederaufarbeitungsteils ("head end") bestehen.

Auch bei den Sicherheitsfragen der HTRs gibt es Unterschiede zum LWR. So ist z. B. „Inhärente Sicherheit", also die physikalisch bedingte Abschaltung oder Stabilisierung des Reaktors bei Leistungs- und Temperaturerhöhungen, beim HTR besonders ausgeprägt. Die niedrig gewählte Leistungsdichte und die hohe Wärmekapazität des Graphits sowie seine große Temperaturbelastbarkeit ergeben bei Störfällen einen langsamen Temperaturanstieg und machen damit einen Kühlmittelverlust – Störfall weniger schwerwiegend. Andererseits können belastbare Aussagen zur Sicherheit eines Gesamtsystems letztlich nur auf der Basis einer bis ins einzelne ausgearbeiteten Konstruktion und deren Überprüfung im Detail getroffen werden. Dies ist für den HTR beim heutigen Entwicklungsstand noch nicht mit genügender Zuverlässigkeit möglich.

HTRs haben gegenüber LWRs vor allem den Vorzug der höheren Kühlmitteltemperatur (theoretisch um 1000° C, die von einem kleineren Versuchsreaktor in Jülich [AVR] bereits annähernd erreicht wurden). Beim Einsatz von HTRs in Kraftwerken kann deshalb der elektrische Wirkungsgrad der Anlage auf das Niveau moderner Öl-

und Kohlekraftwerke angehoben werden. Die Abwärme ist im Vergleich zu LWR's geringer und wesentlich besser auch über Trockenkühltürme abzuführen. Prinzipiell ist wegen der geringen Radioaktivität im Kühlmittel auch der Verzicht auf Wärmetauscher, also die Einbeziehung einer Gasturbine in den Primärkreislauf, bei entsprechender Entwicklungsarbeit möglich. Dadurch könnte eine weitere Steigerung des Wirkungsgrades erreicht werden.

Von besonderer Bedeutung ist die Hochtemperaturwärme des HTR aber für den künftigen Einsatz in industriellen Prozessen, vor allem der Kohlevergasung. Die Verwendung der nuklearen Prozeßwärme könnte die Wirtschaftlichkeit dieser Verfahren verbessern und würde zugleich erlauben, die verfügbaren Kohlemengen wesentlich besser aufzunutzen.

HTRs werden im wesentlichen in der Bundesrepublik Deutschland und in den USA entwickelt. Das deutsche Prototyp-Kraftwerk THTR 300 wird zur Zeit bei Schmehausen im Ruhrgebiet errichtet. Es soll 1980 in Betrieb gehen und dann 300 MWe an das Netz liefern. In den USA ist die HTR-Entwicklung in letzten Jahren von technischen und wirtschaftlichen Rückschlägen gekennzeichnet gewesen.

Auf dem HTR-Gebiet ist eine Zusammenarbeit der Bundesrepublik Deutschland neben den USA vor allem mit der Schweiz und mit Frankreich vereinbart. In größerer Anzahl werden HTRs frühestens in den neunziger Jahren gebaut werden.

Reaktorsicherheit

In den Brennelementen entstehen mit wachsender Ausnutzung des Kernbrennstoffs (Abbrand) in zunehmendem Umfang radioaktive Stoffe als „Abfall" der Kernspaltungsprozesse (Spaltprodukte). Wenn diese radioaktiven Stoffe in erheblichem Maße in die Umgebung gelangen würden, hätte dies katastrophale Folgen für Leben und Gesundheit der Bevölkerung sowie für materielle Werte in der Umgebung des Kernkraftwerks.

Diese potentiellen Gefahren der Kernenergie sind frühzeitig erkannt worden und haben dazu geführt, daß der Sicherheit – wie noch bei keiner anderen technischen Entwicklung zuvor – Vorrang vor wirtschaftlichen Erwägungen eingeräumt wurde. Um diesen Vorrang praktisch zu verwirklichen, werden bei der Errichtung und beim Betrieb von Kernkraftwerken außergewöhnlich hohe Qualitätsanforderungen gestellt. Trotz dieser Sorgfalt werden in umfangreichen Sicherheitsanalysen unterschiedliche Stör- und Unfälle unterstellt, deren Eintreten zwar äußerst unwahrscheinlich ist, die aber trotzdem in ihren Auswirkungen beherrscht werden sollen. Die Analysen haben zur Entwicklung eines Systems von Sicherheitsmaßnahmen und -einrichtungen geführt, dessen Zuverlässigkeit der Größe der möglichen Gefahr angemessen ist. Hierzu zählt, daß auch gegen das Versagen einzelner Sicherheitseinrichtungen im Störfall Vorsorge getroffen wird; die wesentlichen Einrichtungen werden mehrfach und voneinander unabhängig (Redundanzprinzip) sowie in unterschiedlichen technischen Konzeptionen (Diversitätsprinzip) eingebaut.

Ziel der Reaktorsicherheitsmaßnahmen ist es, die radioaktiven Spaltprodukte sowohl im normalen Betrieb

eines Kernkraftwerks als auch bei inneren oder äußeren Störungen im Kernkraftwerk eingeschlossen zu halten.

Zunächst gibt es als „passive" Sicherheitsmaßnahme eine Reihe von Barrieren, die die radioaktiven Stoffe umschließen und eine Freisetzung auch dann verhindern, wenn eine der Barrieren beschädigt sein sollte. Die erste Barriere bildet die Metallumhüllung der Brennstäbe, bei deren Herstellung deshalb besonders darauf geachtet wird, daß sie fehlerfrei und dicht sind und damit den Austritt radioaktiver Stoffe verhindern. Eine zweite solche Barriere bildet das Reaktordruckgefäß, das zusammen mit der Wandung des Primärkreislaufs gleichzeitig auch das den Reaktorkern durchströmende Wasser am Austritt hindert, das vor allem wegen der stets vorhandenen Verunreinigungen durch die intensive Neutronenbestrahlung selbst radioaktiv wird oder in geringem Umfang radioaktive Stoffe enthält.

Um auch dann noch Sicherheit vor dem Austritt radioaktiver Stoffe in die Umgebung zu gewährleisten, wenn Undichtigkeiten am Reaktordruckbehälter oder im Kühlkreislauf auftreten, sind alle Teile eines Reaktors, die eine Strahlengefahr darstellen, von einem stählernen Sicherheitsbehälter (Containment) umgeben. Er ist so ausgelegt, daß er dem Druck standhalten kann, der sich bei Ausströmen und Verdampfen von Primärkühlmittel aus einem großen Leck entwickeln würde. Dieser Behälter ist somit eine dritte Barriere. Er ist zusätzlich von einer starken Betonhülle, der vierten Barriere, umgeben; der Zwischenraum zwischen Containment und Betonhülle wird außerdem unter ständigem Unterdruck gehalten, so daß durch kleinere Undichtigkeiten im Containment verursachte Luftaustritte kontrolliert abgesaugt und nach Filterung in den Containment zurückgepumpt werden können.

Sicherheitsvorkehrungen werden auch im Zusammenhang mit der Regelung des Reaktors, also der Steuerung seiner Energieabgabe, getroffen. Für diese Regelung werden Druck, Temperatur und andere wichtige Daten ständig gemessen, in ein Kontrollzentrum gemeldet und ausgewertet; soweit notwendige Steuerungen nicht automatisch erfolgen, werden sie vom Kontrollraum aus vom Bedienungspersonal eingeleitet.

Wichtige Regeleingriffe im normalen Betrieb sowie zum Abschalten des Reaktors erfolgen über Pumpen und Ventile, das Ein- und Ausfahren von Regelstäben im Reaktorkern oder durch Veränderung der Konzentration bestimmter Zusätze im Kühlmittel; diese Maßnahmen beeinflussen die Zahl der zur Kernspaltung zur Verfügung stehenden Neutronen und steuern so die Energieabgabe des Reaktorkerns.

Wenn während des Betriebs der Anlage aus irgendwelchen Gründen Betriebszustände die zulässigen Betriebswerte überschreiten, also z. B. die ständigen Strahlungs-, Druck- oder Temperaturmessungen zu hohe oder zu niedrige Werte ergeben, greift automatisch das Reaktorschutzsystem ein. Dieses System überführt die Anlage in einen sicheren Zustand, so daß eine Beschädigung von Anlagenteilen, oder, falls eine solche bereits eingetreten sein sollte, eine Schadensausweitung verhindert wird.

Entsprechend dem erwähnten Redundanzprinzip sind auch alle wichtigen Steuerungssysteme eines Reaktors mehrfach vorhanden und voneinander unabhängig einsetzbar, damit der Reaktor auch bei Ausfall oder Beschädigung einzelner Systeme mit Hilfe eines weiteren Systems noch sicher gesteuert werden kann. Außerdem prüft sich das Reaktorschutzsystem ständig selbst auf Fehler, so daß Störungen im Reaktorschutzsystem rechtzeitig erkannt und behoben werden können.

Auch wenn trotz dieser Sicherheitsmaßnahmen der Reaktor falsch gesteuert oder nicht geregelt würde, könnte es nicht zu einer Atom-Explosion kommen. Ein Anstieg der Temperatur im Reaktor vermindert nämlich über einen naturgesetzlichen, physikalischen Effekt die Zahl der verfügbaren Neutronen und stoppt so die Kettenreaktion in dem nur wenig Uran-235 (etwa 3 %) enthaltenden Brennstoff. Nach einer Abschaltung liefern jedoch die Spaltprodukte durch radioaktive Zerfallprozesse noch über längere Zeit soviel Wärmeenergie, daß der Reaktor weiter gekühlt werden muß. Andernfalls könnte der Reaktorkern sich zu stark erwärmen, schmelzen und damit u. U. die vorhandenen Barrieren so zerstören, daß große Radioaktivitätsmengen in die Umgebung freigesetzt werden könnten. Bei gewollten oder automatischen Reaktorabschaltungen wird diese Nachwärmeabfuhr vom normalen Kühlsystem übernommen, welches zu diesem Zweck weiter Kühlmittel durch den Reaktorkern pumpt.

Trotz hoher Sicherheitszuschläge und dreifacher, unabhängiger Qualitätskontrolle schon bei der Fertigung wichtiger Anlagenteile kann jedoch nicht völlig ausgeschlossen werden, daß z. B. durch Bruch einer Kühlwasserleitung die normale Kühlung des Reaktorkerns ausfällt.

Dieser Fall wird als „Größter anzunehmender Unfall" (GAU) bezeichnet. Speziell für diesen Fall werden Notkühlsysteme eingebaut, die aus mehreren unabhängig voneinander funktionierenden, räumlich getrennten Kühlsystemen bestehen. Durch die Notkühlsysteme, deren Pumpen und deren Energieversorgung unabhängig von den übrigen Einrichtungen sind, wird sofort nach Ausfall des Hauptkühlsystems der Reaktorkern geflutet und weiter gekühlt. Die Notkühlsysteme verhindern also, daß nach Ausfall der Hauptkühlung die bereits be-

sprochenen Schmelzvorgänge mit möglicherweise schwerwiegenden Folgen eintreten.

Ein anderer, allerdings sehr unwahrscheinlicher Unfall mit möglicherweise schwerwiegenden Folgen wäre das Versagen des Reaktordruckbehälters bei Leichtwasserreaktoren. Daher werden besonders hohe Anforderungen an Auslegung, Werkstoffauswahl, Konstruktion, Fertigung und Fertigungskontrolle gestellt. Darüber hinaus ist durch regelmäßige Prüfungen des Druckbehälters auf Materialfehler und durch Druckproben die Sicherheit auch im langzeitigen Betrieb gewährleistet.

Die Möglichkeit der Einführung eines ergänzenden Berstschutzes, etwa in Form eines zusätzlichen Betonmantels um den Reaktordruckbehälter, wurde geprüft. Aufgrund des allgemein erreichten hohen Sicherheitsstandes in der Reaktortechnik ist die Reaktor-Sicherheitskommission nach eingehenden Beratungen zu der Auffassung gekommen, daß die Einführung eines zusätzlichen Berstschutzes für Kernkraftwerke an normalen Standorten nicht empfohlen werden muß. Diese zusätzliche Sicherheitsmaßnahme wurde für ein Kernkraftwerk an einem Standort mit überdurchschnittlicher Bevölkerungsdichte und zugleich auf dem Werksgelände chemischer Industrieanlagen diskutiert.

Auch menschliches Versagen des Bedienungspersonals kann zum Ausfall technischer Teilsysteme führen. In diesen Fällen greifen die vorhandenen Sicherheits- und Reaktorschutzsysteme in gleicher Weise wie bei einem technischen Versagen, führen also zu einer Abschaltung der Anlage und begrenzen damit die Auswirkungen des Fehlverhaltens.

Im Hinblick auf mögliche äußere Einwirkungen, wie z. B. Erdbeben, Hochwasser, Feuer, Explosionsdruck-

wellen oder Flugzeugabsturz, werden zusätzliche Anforderungen an die Sicherheitsauslegung von Kernkraftwerken gestellt. Betonfundamente und -hülle sowie alle Bauteile, die sicherheitstechnisch wichtige Einrichtungen oder Anlagenteile enthalten, werden so ausgeführt, daß solche Ereignisse – in dem Maße, in dem sie am jeweiligen Standort unterstellt werden – nicht zu Katastrophen führen können. Beispielsweise muß die Betonhülle eines neu zu errichtenden Kernkraftwerkes den unmittelbaren Aufprall eines schnellfliegenden Militärflugzeugs unzerstört überstehen.

In jedem Genehmigungsverfahren wird im einzelnen festgelegt, in welchem Umfang das Kernkraftwerk gegen derartige Ereignisse zu schützen ist; außerdem wird überprüft, ob die vorgesehenen Maßnahmen den geforderten Schutz wirklich gewährleisten.

Ein möglichst umfassender Schutz vor Terroranschlägen oder Sabotageakten ist ebenfalls bei den Sicherheitsüberlegungen zu berücksichtigen. Zugangskontrollen, das Reaktorschutzsystem, das im Falle von Störungen den Reaktor automatisch abschaltet, Werkschutzgruppen sowie andere mit den Sicherheitsbehörden abgestimmte zusätzliche technische und organisatorische Maßnahmen vermindern die „Erfolgsaussichten" eines Anschlags wesentlich. Im übrigen vermindern das System gestaffelter Barrieren und mehrfach voneinander unabhängiger und räumlich getrennter Sicherheitseinrichtungen die Gefahr erheblich, daß Beschädigungen aufgrund mutwilliger Eingriffe zu großen Schäden führen. Kernkraftwerke sind daher aufgrund der getroffenen und im einzelnen aus Sicherheitsgründen nicht genannten Maßnahmen wenig geeignete Objekte für Sabotage und Terroranschläge, insbesondere auch im Vergleich mit anderen wichtigen Einrichtungen unserer Gesellschaft.

Im Verteidigungsfalle könnten Kernkraftwerke durch gezielte Aktionen eines Angreifers, dem das gesamte Instrumentarium modernster Waffentechnik zur Verfügung steht, zerstört werden; dabei könnte auch ein gewisser Teil des radioaktiven Inventars der Reaktoranlage in die Umgebung freigesetzt werden. Die Bundesregierung ist daher bemüht, bei der Aufstellung von Auslegungsanforderungen, die aus anderen Gründen bereits ein breites Spektrum von massiven Einwirkungen umfassen, auch diesem Aspekt durch eine möglichst vielseitige Schutzwirkung der zu treffenden Maßnahmen in gewissem Umfang Rechnung zu tragen. Darüber hinaus überprüft die Bundesregierung laufend die möglichen Wechselwirkungen zwischen dem Kernenergieprogramm und der äußeren Sicherheit der Bundesrepublik Deutschland und fällt davon ausgehend die notwendigen Entscheidungen. Verteidigungsfragen können jedoch nicht allein technisch beantwortet werden, sie erfordern vielmehr politische Lösungen. Kernkraftwerke werden nicht nur bei uns, sondern auch in vielen anderen Staaten gebaut; in etwa 20 Staaten werden bereits Kernkraftwerke betrieben, darunter z. B. die USA, Kanada, UdSSR, Frankreich, Großbritannien, DDR, Indien, Japan und Schweden. In zahlreichen weiteren Staaten sind Kernkraftwerke im Bau oder geplant. Auch wenn diese Länder unterschiedlich dicht besiedelt sind, haben sie das gleiche Interesse, die Zerstörung von Kernkraftwerken oder anderen kerntechnischen Anlagen im Kriegsfall zu verhindern.

In diesem Zusammenhang ist auf das Ergebnis der Genfer Diplomatischen Konferenz zur Neubestätigung und Weiterentwicklung des in bewaffneten Konflikten anwendbaren humanitären Völkerrechts hinzuweisen, durch das ein weltweiter kriegsrechtlicher Schutz u. a. auch für Kernkraftwerke erreicht werden soll. Im Rahmen der Erarbeitung eines Zusatzprotokolls zu den Vier

Genfer Rotkreuz-Konventionen hat das Plenum der Konferenz in der abschließenden Sitzungsperiode im Frühjahr 1977 eine Bestimmung verabschiedet, die es grundsätzlich verbietet, z. B. Staudämme, Deiche und auch Kernkraftwerke zum Gegenstand eines militärischen Angriffs oder einer entsprechenden Androhung zu machen. Das Zusatzprotokoll liegt ab Ende 1977 zur Zeichnung auf. Mit seinem Inkrafttreten kann nach Ratifikation durch die beteiligten Staaten ab 1979 gerechnet werden.

Eine deutliche Verbesserung der Sicherheitseigenschaften eines Kernkraftwerks, insbesondere gegen die bereits erwähnten äußeren Einwirkungen auf das Kernkraftwerk bis hin zu Waffeneinwirkungen kann nach Meinung einiger Fachleute u. U. eine unterirdische Bauweise bieten. Die Bundesregierung läßt deshalb bereits seit einiger Zeit die Probleme und Vorteile, die mit der unterirdischen Bauweise verbunden sind, untersuchen. Die bisherigen Ergebnisse lassen die technische Realisierbarkeit dieser Bauweise erwarten. Sie kann jedoch nicht als Stand von Wissenschaft und Technik angesehen werden. Eine Bilanz von erreichbarem Sicherheitsgewinn und in Kauf zu nehmendem Nachteil ist noch nicht möglich.

Sicherheitsprobleme treten nicht nur beim Betrieb von Reaktoren auf, sondern auch bei und nach ihrer Stillegung; denn auch nach der Entfernung der Brennelemente und anderer beweglicher radioaktiver Stoffe sind in der Anlage noch radioaktive Bauteile vorhanden. Zwar sind bisher noch nicht alle technischen und organisatorischen Einzelheiten ausgearbeitet, doch besteht u. a. aufgrund der Erfahrungen mit der Stillegung kleinerer Versuchsanlagen im Ausland unter Fachleuten kein grundsätzlicher Zweifel daran, daß Kernkraftwerke sicher stillgelegt und wenn nötig auch vollständig beseitigt werden können. Die Kosten derartiger Stillegun-

gen werden diejenigen konventioneller technischer Anlagen erheblich überschreiten. Die Betreiber von Kernkraftwerken bilden daher schon während der Betriebszeit der Anlage entsprechende finanzielle Rücklagen.

Trotz dieser weitreichenden Sicherheitsvorkehrungen, die wegen der besonderen Gefahren der Kernenergie weit über Sicherheitsstandards in anderen Bereichen hinausgehen, bleibt ein gewisses Restrisiko. Absolute Sicherheit ist technisch nicht erreichbar, weder bei der Kernenergie noch bei anderen technischen Anlagen und Konstruktionen.

Mit der Festlegung der Sicherheitsanforderungen an Bau und Betrieb eines Kernkraftwerks wird eine Entscheidung über das verbleibende Risiko getroffen. Solch ein Restrisiko existiert nicht nur bei Kernkraftwerken; mit einem Restrisiko müssen auch die Menschen in der Nähe einer chemischen Fabrik, eines Staudamms oder anderer großtechnischer Anlagen leben.

Die Fragen nach der Zumutbarkeit von Risiken ist immer auch eine Frage der Abwägung. Von besonderer Bedeutung für die Bewertung der kerntechnischen Risiken ist das Risiko, das eingegangen würde, wenn statt dessen verstärkt Erdöl, Kohle oder Erdgas genutzt wird und die dabei trotz der gültigen Umweltschutzbestimmungen noch anfallenden Schadstoffe akzeptiert werden, oder wenn mit einem Verzicht auf ausreichende Deckung des Energiebedarfs wirtschaftliche und gesellschaftliche Krisen in Kauf genommen würden.

In den USA ist zum Risiko von Kernkraftwerken in den vergangenen Jahren eine sehr eingehende Untersuchung durchgeführt worden: der sogenannte „Rasmussen-Report". Die Studie hat zur weltweiten, z. T. kontroversen Diskussion geführt. Von Kritikern wird

dabei vor allem auf die grundsätzlichen Grenzen des methodischen Ansatzes verwiesen, mit dem z. B. menschliche Unzulänglichkeit nicht erfaßt wird. Es wird aber allgemein anerkannt, daß es sich hier um den bisher gründlichsten Versuch einer quantitativen Risikoabschätzung für komplexe Systeme handelt.

Die weltweite Überprüfung der Zuverlässigkeit dieser Studie ist noch nicht abgeschlossen. Die Ergebnisse können auch nicht ohne weiter es auf die Bundesrepublik übertragen werden. Einerseits werden in der Bundesrepublik in mancher Hinsicht andere und teilweise höhere Anforderungen an die Sicherheit von Kernkraftwerken gestellt als in den USA, andererseits kann die größere Bevölkerungsdichte in der Bundesrepublik zu anderen Resultaten in der Gesamtbewertung des Risikos führen. Deutsche Forschungsinstitute sind zur Zeit dabei, den Rasmussen-Report kritisch zu analysieren und zu prüfen, inwieweit seine Ergebnisse auf deutsche Verhältnisse übertragbar sind. Darüber hinaus werden eigene gleichlaufende Untersuchungen durchgeführt, die nicht nur den methodischen Ansatz von Rasmussen weiterentwickeln sollen, sondern auch rechtliche, soziologische und psychologische Aspekte in eine umfassende Risikobewertung einbeziehen sollen. Diese Arbeiten werden die Grundlagen für eine sachliche Auseinandersetzung um die Zumutbarkeit der verbleibenden Risiken verbessern; sie werden überdies Ansatzpunkte liefern, wo und wie durch weitere Verbesserungen der Sicherheitssysteme und -maßnahmen ein optimaler Sicherheitsgewinn erreicht werden kann.

Rasmussen-Studie

Unter Leitung von Professor Rasmussen hat ein amerikanisches Team die Unfallrisiken amerikanischer Leichtwasser-Kernkraftwerke untersucht. Die Studie verfolgte zwei Ziele:

- das von Kernkraftwerken verursachte Risiko für die Bevölkerung zu ermitteln und
- diese Kernkraftwerksrisiken mit anderen zivilisationsbedingten und natürlichen Risiken zu vergleichen.

Wesentlich für die Bewältigung dieser Aufgabe war, daß alle denkbaren Störfälle hinsichtlich ihrer Eintrittwahrscheinlichkeit abgeschätzt und ihr Ablauf und mögliche Auswirkungen auf die Umgebung untersucht wurden.

Die Studie enthält folgende Feststellungen:
- der schwerste mögliche Unfall ist das Schmelzen des Reaktorkerns, wie es bei völligem Ausfall der Reaktorkühlung eintreten könnte
- die Wahrscheinlichkeit für einen solchen Unfall liegt bei 1:20 000 pro Jahr und Kernkraftwerk
- die Folgen eines Kernschmelz-Vorgangs sind stark abhängig von verschiedenen Faktoren; deshalb führt der Wahrscheinlichkeit nach nur jeder zehnte Fall von Kernschmelzen zu nachweisbaren Beeinträchtigungen der Gesundheit von Bewohnern der Umgebung.

Unter der Annahme von 100 Kernreaktoren auf dem Territorium der USA kommt die Studie zu dem Schluß, daß ein schwerer Unfall mit 1000 Toten nur mit der Wahrscheinlichkeit von eins zu einer Million pro Jahr eintre-

ten dürfte; damit ist ein solcher Reaktorunfall viel unwahrscheinlicher als beispielsweise ein entsprechender, also 1000 Tote verursachender Unfall durch Flugzeugabsturz (etwa 400mal wahrscheinlicher), durch Chlorfreisetzung aus chemischen Anlagen (1000mal wahrscheinlicher) oder durch Dammbruch (10 000mal wahrscheinlicher).

Hinsichtlich des Todesrisikos durch Unfall für den einzelnen Bürger, der im Umkreis von 30 km eines amerikanischen Reaktorstandorts wohnt, ergibt die Studie: die Wahrscheinlichkeit, durch Blitzschlag zu sterben, ist 25mal, durch Umgang mit Elektrizität 300mal, durch den Kraftfahrzeugverkehr 15 000mal so groß wie die Wahrscheinlichkeit, einem Reaktorunfall zum Opfer zu fallen.

Die Geschichte der Kerntechnik weist eine sehr gute Sicherheitsbilanz auf, sie ist aber auch nicht frei von Unfällen, zum Teil auch gefährlicher Art. Schwere Unfälle haben sich allerdings fast ausschließlich in militärischen Anlagen und Versuchsanlagen ereignet und wären von den heute üblichen Sicherheitssystemen verhindert worden.

Für die Bundesrepublik Deutschland hat der Bundesministers des Innern eine Liste von Störfällen in Kernkraftwerken zusammengestellt und veröffentlicht, die auch einige kleinere Störungen enthält. Grundsätzlich läßt sich aus all diesen Störfällen der Schluß ziehen, daß die für sehr viel schwerwiegendere Störungen ausge-

legten Sicherheitssysteme funktioniert haben, Unfälle verhütet und den Schaden auf einen Teil des Kernkraftwerks selbst begrenzt haben. Zum Teil offenbarten diese Störfälle aber auch Schwächen von Teilsystemen und boten Gelegenheit, diese Fehler zu beseitigen und bei anderen und künftigen Anlagen zu vermeiden.

Einige Störfälle in der Geschichte der Kerntechnik

Windscale (Großbritannien), 1957: Graphitüberhitzung im Plutonium-Produktionsreaktor. Da diese, militärischen Zwecken dienende Anlage noch nicht durch Sicherheitsbehälter und geschlossenen Kühlkreislauf geschützt war, konnte radioaktives Jod aus den beschädigten Brennelementen in die Umgebung gelangen. Gesundheitliche Schäden wurden weder beim Werkspersonal noch bei der Bevölkerung beobachtet; der Reaktor wurde stillgelegt.

Idaho Falls (USA), 1961: Freisetzung von radioaktiven Stoffen im Werksgelände des Armee-Reaktors. Dieser Unfall, dem drei Soldaten zum Opfer fielen, war durch grobe Fahrlässigkeiten des Bedienungspersonals verursacht; das heute übliche Reaktorschutzsystem sowie der Sicherheitsbehälter hätten den Störfall und die Auswirkungen verhindert.

Detroit (USA), 1966: Im Enrico-Fermi-Reaktor, einem natriumgekühlten Schnell-Brüter-Versuchskraftwerk, wurden während einer Leistungserhöhung anomal hohe Austrittstemperaturen des Kühlmittels bei einigen Brennstoffbündeln und eine Erhöhung der Strahlenintensität im Reaktorgebäude beobachtet, was zu Strahlenalarm und ordnungsgemäßer Abschaltung des Reaktors führte. Als Störfallursache erwiesen sich abgerissene Strömungsleitbleche, die den Kühlmitteldurchsatz einiger Brennstoffbündel behinderten und dadurch in zwei Brennstoffbündeln Brennstoffschmelzen auslösten. Der Störfall hatte keine Auswirkung auf die Umgebung: der Reaktor wurde 1970–1972 nochmals betrieben und dann aus finanziellen Gründen stillgelegt.

Lucons (Schweiz), 1969: Kühlmittelverluststörfall mit Schmelzen des betroffenen Brennelements in dem in eine Felskaverne eingebauten Versuchsreaktor. Personen kamen nicht zu Schaden, da die Sicherheitseinrichtungen funktionierten.

Lingen (Bundesrepublik Deutschland) 1969: Überschreitung der zulässigen Abgabewerte von radioaktiven Stoffen durch technisches Versagen. Personenschäden wurden nicht festgestellt. Durch konstruktive Änderung ist eine Wiederholung des Störfalls ausgeschlossen.

Obrigheim (Bundesrepublik Deutschland), 1972: Bersten eines Entwässerungsbehälters mit Beschädigung von Anlagenteilen innerhalb des Sicherheitseinschlusses. Keine Personenschäden und keine unzulässigen Aktivitätsfreisetzungen. Das Kernkraftwerk hat seinen Betrieb wieder aufgenommen, nachdem nach Ansicht der Genehmigungsbehörde eine Wiederholung des Störfalls ausgeschlossen werden konnte.

Würgassen (Bundesrepublik Deutschland), 1972: Leck in Kondensationskammer aufgrund von Druckstößen während Prüfungsarbeiten zur Inbetriebnahme des Kernkraftwerks. Durch Schnellabschaltung des Reaktors wurde verhindert, daß weitere Schäden auftraten. Keine Personenschäden und keine unzulässige Aktivitätsfreigabe.

Browns Ferry (USA), 1975: Brand eines Kabelstrangs aufgrund fahrlässigen Umgangs mit offenem Feuer (mit einer Kerze!) im Kabelschacht. Da bei der amerikanischen Reaktoranlage anders als bei deutschen Reaktoren die Kabelführung nicht redundant, d. h. auf verschiedene, räumlich getrennte Schächte verteilt ist, fiel durch diesen Kabelbrand ein großer Teil der Sicherheits- und Steuerungseinrichtungen aus; der Reaktor konnte nur mit Mühe abgeschaltet werden.

Gundremmingen (Bundesrepublik Deutschland), 1975: Freisetzung von heißem, schwach radioaktivem Dampf in den Sicherheitsbehälter aus einer Absperrarmatur des Primärwasserreinigungs-Kreislaufs bei Wartungsarbeiten. Bei dem Unfall wurden zwei Reparaturschlosser infolge Hitzeeinwirkung durch den ausströmenden Dampf tödlich verletzt. Keine unzulässige Aktivitätsabgabe an die Umgebung.

Gundremmingen (Bundesrepublik Deutschland), 1977: Vollständige Entlastung des Primärsystems in den Sicherheitsbehälter nach Drucküberhöhung durch Überspeisen. Keine Personenschäden und keine unzulässigen Aktivitätsfreisetzungen. Das Kernkraftwerk kann seinen Betrieb erst dann wieder aufnehmen, wenn die hierfür erforderlichen Reparatur- und Ertüchtigungsmaßnahmen durchgeführt worden sind.

Reaktorsicherheitsforschung

Trotz der guten Sicherheitsbilanz der Kernenergie gibt man sich mit dem Stand der Sicherheitstechnik nicht zufrieden: die Bundesregierung fördert die Reaktorsicherheitsforschung mit rund 120 Mio DM pro Jahr. Oft wird nicht verstanden, warum noch geforscht wird, wenn doch die Sicherheit heute bereits ausreicht, oder es wird umgekehrt der Schluß gezogen, die Sicherheit könne noch nicht ausreichend sein, wenn noch geforscht werden müsse.

Es gibt aber gute Gründe, auch bei hohem Sicherheitsstandard die Sicherheitstechnik weiterzuentwickeln. Angesichts der Größenordnung der wenn auch noch so unwahrscheinlichen Unfälle soll – vor allem im Hinblick auf die zunehmende Nutzung der Kernenergie – das verbleibende Restrisiko weiter vermindert werden. Hierbei geht es auch um das Problem, beim Bau von Kernkraftwerken in relativ dicht besiedelten Gebieten die Risiken für die Bevölkerung zumutbar klein zu halten. Daneben gibt es in der Sicherheitstechnik einige Bereiche, in denen fehlende Kenntnisse über Materialverhalten oder mögliche Störfallabläufe durch besonders vorsichtige Annahmen (mit hohem Sicherheitszuschlag) überbrückt werden. Die laufenden Forschungsarbeiten sollen dazu beitragen, den möglichen Störungen mit geringerem Aufwand und zugleich gezielter vorbeugen zu können, z. B. durch eine Weiterentwicklung der Qualitätssicherungsverfahren bei der Herstellung von Reaktorkomponenten. Eine Reihe von Untersuchungen ist den Vorgängen bei einer eventuellen Freisetzung von radioaktiven Spaltprodukten gewidmet sowie der Entwicklung von Methoden zur Dekontamination (Entfernung radioaktiver Verunreinigungen auf

Gegenständen, Beton u. ä.) und verbesserter Spaltproduktrückhaltung.

Auch die Weiterentwicklung der Sicherheitstechnik im Hinblick auf Reparatur- und Wartungsfreundlichkeit sowie auf eine spätere Stillegung und Beseitigung kerntechnischer Anlagen ist Gegenstand der Reaktorsicherheitsforschung.

Strahlenschutz

Die Schutzvorrichtungen in Kernkraftwerken dienen nicht nur zur Verhinderung von Unfällen und zur Begrenzung der Auswirkung von Störfällen. Viele Einrichtungen sorgen auch dafür, daß beim normalen Betrieb der Anlage, bei Wartungsarbeiten, beim Brennelementwechsel sowie bei Störfällen keine unzulässig hohen Mengen radioaktiver Stoffe an Luft, Wasser und Boden in der Umgebung abgegeben werden und die Belegschaft des Kraftwerks vor unzulässigen Strahlendosen geschützt wird.

Für die Abschirmung der radioaktiven Strahlung beim normalen Betrieb eines Reaktors sorgen nicht nur die Wände des Kernbehälters, der im Reaktordruckgefäß die Brennelementzone umgibt, und der Reaktordruckbehälter selbst; um diesen herum befindet sich vielmehr noch ein sogenannter biologischer Schild aus Spezialbeton von etwa 2 m Dicke sowie andere abschirmende Betoneinbauten.

Durch Personen- und Materialschleusen sowie Druckgefälle wird ein Austreten von radioaktiv belasteter Luft verhindert. Außerdem wird die Strahlenbelastung in den Räumen des Kontrollbereichs (Ortsdosisüberwachung) und die Strahlenbelastung der im Kontrollbereich tätigen Personen (Personendosisüberwachung) ständig überwacht.

In die Entlüftungssysteme der Bereiche des Kernkraftwerks, in denen radioaktive Gase oder Schwebestoffe auftreten können, sind Anlagen eingebaut, die den Aktivitätsgehalt kontrollieren und durch Filterung für die Einhaltung der behördlich vorgeschriebenen und kontrollierten maximal zulässigen Konzentrationswerte der über einen Kamin an die Atmosphäre abgegebenen Abluft sorgen.

Radioaktiven Abwässern, die vor allem bei verschiedenen Reinigungsvorgängen entstehen, werden die radioaktiven Bestandteile soweit entzogen, daß sie unter Einhaltung der behördlichen Bestimmungen kontrolliert in freie Gewässer abgegeben werden können.

Die radioaktiven Rückstände dieser Reinigungsschritte, z. B. Filter oder Konzentrate, werden in speziellen Fässern zu Zwischen- oder Endlagern abtransportiert.

Urangewinnung

Uran, der Brennstoff der Kernkraftwerke, kommt in der Natur nicht als reines Metall, sondern in chemischer Verbindung mit Sauerstoff (Uranoxid) oder gelegentlich auch mit anderen Elementen vor. Sein Durchschnittsgehalt in der Erdrinde beträgt etwa 4 Gramm pro Tonne. Es ist damit seltener als viele andere Metalle, aber immer noch etwa 800mal häufiger als Gold. Uran tritt in etwa 80 verschiedenen Mineralien in wesentlich höherer Konzentration auf, im Idealfall als Pechblende aus bis zu 95prozentigem Uranoxid in Form von Kristallen in der Größe von Sandkörnern bis zu tonnenschweren Blöcken. Heute abbauwürdige Vorkommen enthalten einige Kilogramm Uran pro t Erz.

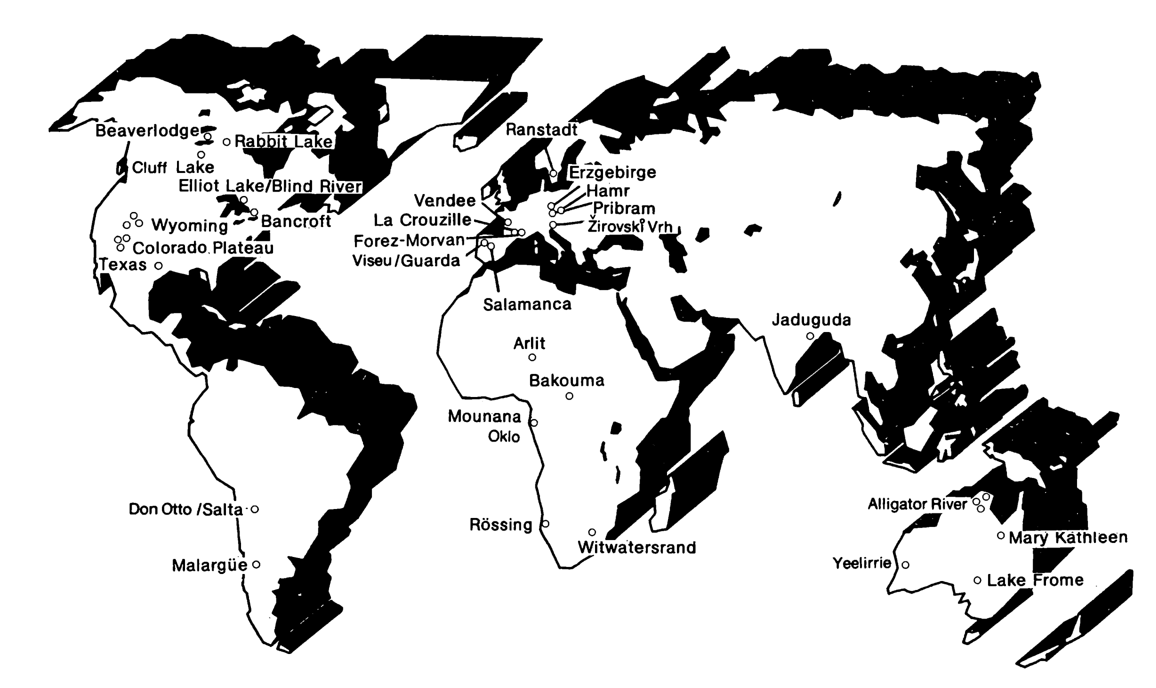
Wie groß die abbauwürdigen Uranvorräte der Welt sind, ist heute nur schwer abzuschätzen. In vielen Regionen, in denen wegen ihrer geologischen Beschaffenheit Uranfunde möglich erscheinen, beginnt man erst heute mit den Prospektionsarbeiten. Ende 1977 sind, ohne Berücksichtigung der kommunistischen Länder, von denen keine Angaben vorliegen, Lagerstätten mit etwa 3 Mio Tonnen Uran zu Kosten bis zu 110 Dollar je Kilogramm bekannt. Diese Lagerstätten befinden sich vor allem in USA, in Südafrika, Australien und Kanada. Mehr und mehr werden aber auch abbauwürdige Lagerstätten in weniger entwickelten Staaten entdeckt. Über die sicher bekannten Lagerstätten hinaus sind bereits Lagerstätten bekannt, deren Urangehalt auf ebenfalls etwa 2 Mio Tonnen in derselben Kostenklasse geschätzt werden.

Nimmt man höhere Gewinnungskosten in Kauf, werden auch Uranerze mit einer geringeren Uranoxid-Konzentration abbauwürdig, die heute praktisch noch nicht erfaßt werden; außerdem steigt der Anreiz, auch in entlegenen Gebieten oder tieferen Erdschichten zu suchen. Noch nicht zu übersehen ist, mit welcher Technik, mit welchem Energieverbrauch, mit welchen Umweltproblemen und zu welchen Kosten die riesigen Uranvorräte genutzt werden können, die in einer Konzentration von einigen Tausendstel g pro t im Meerwasser enthalten sind.

Uran wird bergmännisch gewonnen; die Sicherheits- und Umweltprobleme sind insoweit ähnlich zu bewerten und zu lösen wie in anderen Bergwerksbetrieben auch. Als besonderes Problem kommt aber hinzu, daß Uranerzlagerstätten stets das radioaktive Gas Radon freisetzen; deshalb sind heute auch beim Uranbergbau sowie bei den Erz-Aufbereitungsanlagen in allen Ländern spezielle Maßnahmen und Einrichtungen für den Schutz der Beschäftigen vor Strahlenschäden vorgeschrieben.

Die bisher bekannten Uran-Vorkommen in der Bundesrepublik Deutschland lassen sich heute nicht unter wirtschaftlichen Bedingungen abbauen; auch Uran muß daher importiert werden. Dennoch ist die Versorgungslage besser als beim Erdöl: die zur Zeit wirtschaftlich verwertbaren Uranvorräte sind auf der Welt breit verteilt. Kartellbildungen nach dem Vorbild der OPEC (Organisation der erdölexportierenden Staaten) haben daher kaum eine Chance, ähnlich schlagkräftig zu werden. Wegen der günstigen Voraussetzungen für eine Vorratshaltung von Kernbrennstoffen kann außerdem Versorgungsstörungen vorgebeugt werden.

Uranfunde in aller Welt



Zur Herstellung der 1. Brennstoff-Ausstattung eines Kernkraftwerks mit 1300 MW Leistung (1 Megawatt, abgekürzt MW, ist gleich 1000 kW) benötigt man etwa 500 t Natur-Uran. Der jährliche Brennstoffverbrauch eines solchen Kraftwerks erfordert nur rund 150 t Natur-Uran, da jährlich ein Drittel der Brennelemente ausgetauscht werden muß. Die Verwirklichung des Energieprogramms der Bundesregierung wird 1985 zu einem Jahresbedarf von etwa 8 000 t Natur-Uran führen. Da auch die anderen Industrieländer die Kernenergie in entsprechendem Umfang nutzen werden, könnte die daraus folgende Bedarfssteigerung zu Versorgungsengpässen führen, wenn die Entdeckung und Erschließung neuer Lagerstätten und die Entwicklung neuer Techniken für die Prospektion und Gewinnung von Uran nicht mit dem Bedarf Schritt hält. Die Zeit vom Start eines Prospektionsprogramms bis zur ersten Auslieferung von Uranoxid dauert im allgemeinen zehn Jahre und länger.

Um die Versorgungsrisiken möglichst klein zu halten, ermöglicht es die Bundesregierung den deutschen Uranversorgungsunternehmen durch finanzielle und politische Unterstützung, sich durch eigene Prospektion und durch Beteiligungen an ausländischen Prospektions- und Bergbauunternehmen Uranlieferungen zu sichern. Um einseitige Abhängigkeiten zu vermeiden, sind diese Beteiligungen auf viele Länder in allen Erdteilen verteilt. Ein Teil des Bedarfs wird durch langfristige Verträge oder Käufe auf dem freien Markt gedeckt. Durch alle diese Maßnahmen ist die deutsche Versorgung mit Natur-Uran bereits heute bis 1980 gesichert. Diese Vorsorge geht über das Maß hinaus, das bei anderen Energieträgern und Rohstoffen üblich ist.

Urananreicherung

Reines Natur-Uran ist als Brennstoff für die in der Bundesrepublik arbeitenden Kernkraftwerke ungeeignet, da es nur zu 0,7 Prozent aus der spaltbaren, leichteren Uransorte U-235 und zu 99,3 Prozent aus der schwereren und nicht spaltbaren Sorte U-238 besteht. Bei der Verwendung von Natur-Uran dieser Zusammensetzung würden in unseren wassergekühlten Kernkraftwerken so viele Neutronen durch das Uran-238 weggefangen, daß eine Kettenreaktion nicht zustande kommen könnte. Der Gehalt an U-235 im Kernbrennstoff muß also erhöht („angereichert'') werden. Da sich die beiden Uransorten (Isotope) chemisch nicht voneinander unterscheiden, wird dabei ihr Gewichtsunterschied genutzt. Zunächst wird das aus Uranerz gewonnene feste Uranoxid mit Hilfe von Fluor in das gasförmige Uranhexafluorid umgewandelt. Dies geschieht in sogenannten Konversionsfabriken. Für die dann folgende Trennung der beiden Isotope des Urans gibt es heute mehrere Verfahren:

Beim Gas-Diffusionsverfahren, nach dem die großen Anlagen der USA und der UdSSR arbeiten, wird das Uranhexafluorid-Gas mit erheblichem Energieaufwand durch winzigste Poren speziell entwickelter Wände gedrückt. Dabei wandert (diffundiert) das leichtere Uran-235 ein wenig schneller hindurch als das schwerere Uran-238. So kommt es auf der einen Seite der Wand zu einer größeren Konzentration des spaltbaren Urans-235 als auf der anderen. Durch Hintereinanderschalten vieler solcher Stufen zu einer sogenannten Kaskade erhält man den gewünschten Anreicherungsgrad.

Beim Zentrifugenverfahren, das von der Bundesrepublik, Großbritannien und den Niederlanden nach ge-

meinsam betriebener Entwicklung jetzt auch wirtschaftlich eingesetzt wird, wird das Gas in einer fast reibungsfrei gelagerten Zentrifuge mit sehr hoher Umdrehungszahl geschleudert. Die Zentrifugalkräfte sorgen dafür, daß die schwerere Uransorte an die Außenwand gedrückt wird und die Konzentration des leichteren Isotops in der Mitte ansteigt, so daß – ähnlich wie in einer Milchzentrifuge die Sahne von der Milch – Uran-235 von Uran-238 getrennt werden kann. Auch hier sind mehrere Stufen erforderlich; der Energieverbrauch beträgt jedoch im Vergleich zum Diffusionsverfahren nur rund ein Zehntel. Ähnliches geschieht beim Trenndüsenverfahren, das in der Bundesrepublik entwickelt wird. Hierbei wird das Uranhexafluorid in jeder Stufe der Kaskade in winzigen Düsen beschleunigt und halbkreisförmig umgelenkt, so daß wiederum Zentrifugalkräfte für eine Anreicherung des Urans-235 sorgen.

Der Bedarf der Bundesrepublik an Uran-Anreicherung wurde bisher vor allem von den Anlagen in den USA, teilweise auch in der UdSSR gedeckt. Bald werden jedoch neue, zusätzliche Anreicherungsfabriken nötig, da der Bedarf entsprechend der in vielen Ländern vorgesehenen Kernenergienutzung ansteigt. Die Bundesregierung hat bereits Maßnahmen ergriffen, damit Anreicherungsfabriken nach dem Zentrifugenverfahren rechtzeitig in Europa errichtet werden können; mit dem Aufbau von Kapazitäten, die u. a. den deutschen Bedarf zu etwa $^1/_3$ decken werden, wurde bereits begonnen. In Frankreich wird derzeit eine große Gasdiffusionsanlage gebaut.

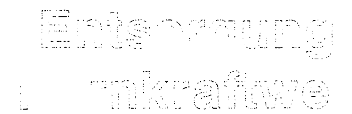
Um zusätzlich unerwarteten Versorgungsschwierigkeiten vorzubeugen, hat die Bundesregierung vor allem im Rahmen des Devisenausgleichsabkommens mit den USA einen Vorrat an angereichertem Uran angelegt und weitere Lieferungen aus den USA vertraglich abgesichert.

Da Vorratshaltung eine wichtige Maßnahme zur Sicherung der Energieversorgung ist, ist nicht unwesentlich, daß Kernenergie hier erhebliche Vorzüge besitzt. Da ein Kernkraftwerk nur einmal im Jahr Brennstoffnachschub benötigt, würden sich kurzfristige Lücken in der Brennstoffversorgung selbst bei fehlenden Vorratslagern nur auf die gerade nachladebedürftigen Kernkraftwerke auswirken; die Fabriken, in denen aus dem angereicherten Uran Brennelemente hergestellt werden, und die Anreicherungsanlagen selbst wirken hierbei zusätzlich als Pufferlager, da sich dort jeweils beträchtliche Uranmengen im Verarbeitungsprozeß befinden.

Die Bevorratungsmöglichkeiten von Uran sind dadurch gekennzeichnet, daß sich aus 1 t Natur-Uran von etwa einem Zehntel Kubikmeter Rauminhalt ebenso viel elektrische Energie gewinnen läßt wie aus knapp 10 000 t Erdöl, die ein Volumen von etwa 11 000 Kubikmetern beanspruchen. Das Uran kann problemlos in normalen Fässern gelagert werden. Nach heutigen Preisen kostet die 1 t Natur-Uran nur etwa 100 000 bis 200 000 DM, während die gleichwertigen Vorräte von 10 000 t Erdöl über 2 Mio DM kosten. Lagert man statt der 1 t Natur-Uran das daraus zu gewinnende angereicherte Uran (knapp 200 kg), so erhöht sich zwar wegen der Anreicherungskosten von etwa 150 000 DM der Kapitalwert auf 250 000–350 000 DM, gegenüber Erdöl ist dieser Vorrat jedoch immer noch wesentlich billiger. Dieser Mengen- und Kostenvergleich zeigt nicht nur die günstigeren Bedingungen für eine Vorratshaltung, sondern macht auch deutlich, wieviel Devisen gespart werden, wenn die Nutzung der Kernenergie zusätzliche Ölimporte ersetzt.

Da die Kosten für das Natururan zur Zeit nur etwa 5–7 % der Stromerzeugungskosten ausmachen, schlagen evtl. Preiserhöhungen der Lieferstaaten für diesen Energie-

rohstoff wesentlich weniger auf den volkswirtschaftlich so wichtigen Energiepreis durch als beim Erdöl, dessen Preis die Hälfte der Stromerzeugungskosten eines Öl-Kraftwerks ausmacht.



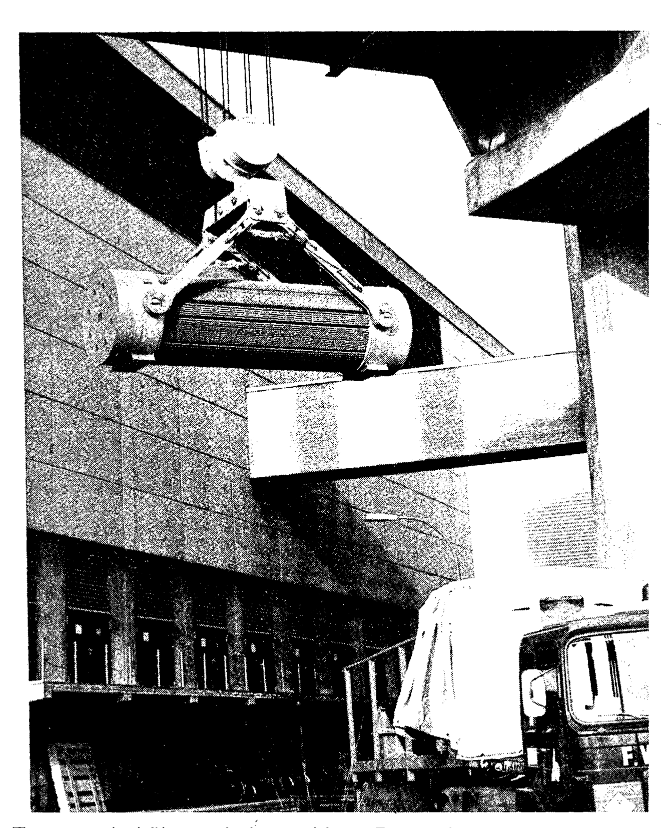
Behandlung der Brennelemente

Es wurde bereits besprochen, welche Prozesse mit der Energiefreisetzung im Kernreaktor verbunden sind. Das anfangs zu etwa 3 % im Brennstoff enthaltene Uran-235 wird nach und nach gespalten. Dabei entstehen einerseits die radioaktiven Spaltprodukte, andererseits erzeugt ein Teil der freigesetzten Neutronen aus dem Uran-238 Plutonium und einige andere in der Natur nicht vorkommenden Elemente, sogenannte Transurane. Da insbesondere das „erbrütete" Plutoniumisotop 239 ähnlich gute Spalteigenschaften hat wie das Uran-235, trägt es bereits im Brennelement in gewissem Umfang zur Energieerzeugung durch Spaltung bei.

Nach etwa 3 Jahren ist einerseits das Uran-235 weitgehend verbraucht, andererseits fangen die gebildeten Spaltprodukte immer mehr Neutronen weg und behindern so zunehmend die Kettenreaktion. Die betreffenden Brennelemente müssen also gegen neue ausgetauscht werden. Ungefähr 30 t solcher Brennelemente fallen jährlich in einem Kernkraftwerk mit 1300 Mega-

Watt Leistung an. Enthielt das frisch eingesetzte Brennelement etwa 3 % Uran-235 und 97 % Uran-238, so setzt sich das ausgetauschte („abgebrannte") Brennelement etwa wie folgt zusammen: 1 % Uran-235, 95 % Uran-238, 1 % Plutonium (davon etwa die Hälfte Plutonium-239) und 3 % Spaltprodukte und Transurane.

Ausgetauschte Brennelemente werden zunächst bis zu etwa einem halben Jahr im Inneren des Kernkraftwer-



Ein Transportbehälter mit bestrahlten Brennelementen des Kernkraftwerks Stade wird verladen.

kes, also innerhalb des Sicherheitsbehälters („Containment"), in einem Wasserbecken gelagert, um den Zerfall der kurzlebigen radioaktiven Substanzen abzuwarten. Wenn die Brennelemente das Kernkraftwerk verlassen, ist ihre anfängliche Radioaktivität auf einige Prozent „abgeklungen". Aber die verbleibende, noch immer sehr hohe Radioaktivität erfordert, daß beim Transport spezielle, behördlich genehmigte Transportbehälter verwendet werden müssen. Diese Behälter müssen bei Transportunfällen, Feuer u. ä. die Strahlung wirksam abschirmen und den Austritt radioaktiver Substanzen verhindern. Zudem müssen alle derartigen Transporte den zuständigen Behörden gemeldet werden, so daß sie überwacht werden können.

Das Entsorgungskonzept

Ein Teil der radioaktiven Spaltprodukte, insbesondere aber das Plutonium und andere im Reaktor „erbrütete" radioaktive Elemente zerfallen so langsam, daß sie für viele Jahrtausende ihre Radioaktivität behalten. Diese Tatsache erfordert für die Abfälle eine Form der Beseitigung, wie sie in anderen Bereichen von Wirtschaft und Technik nicht als nötig angesehen werden; es muß sichergestellt werden, daß diese radioaktiven Substanzen aus dem Lebensraum von Menschen, Tieren und Pflanzen ferngehalten werden. Die Radioaktivität an sich ist jedoch kein Maß für die Gefährlichkeit für Mensch und Umwelt. Dieses Maß wird vielmehr durch die Radiotoxität gegeben, die nach etwa 1000 Jahren auf das Maß abgesunken ist, das auch ein natürliches Uranerzlager aufweist.

Das langlebige Plutonium (Plutonium-239 hat eine Halbwertszeit von 24 000 Jahren) kann in Reaktoren abgebaut werden, wobei es als wertvoller Spaltstoff Energie liefert. Um diese Möglichkeit nutzen zu können, muß das Plutonium in Wiederaufarbeitungsanlagen von den Spaltprodukten abgetrennt werden. Um einen Mißbrauch dieser gefährlichen Substanz auszuschließen, ist aus Sicherheitsgründen vorgesehen, das Plutonium unmittelbar am Ort der Wiederaufarbeitung zu neuen Brennelementen weiterzuverarbeiten. Auf diese Weise entfällt die Notwendigkeit, reines Plutonium außerhalb der geschlossenen Anlage zu transportieren. Auch das bei der Wiederaufarbeitung rückgewonnene Resturan wird zu neuen Brennelementen weiterverarbeitet werden.

Die Wiederaufarbeitung der abgebrannten Brennelemente führt zu einer starken Konzentration aller radioaktiven Abfälle, die beseitigt werden müssen. Auch hierbei ist es aus Gründen der Sicherheit vorteilhaft, diese Abfälle ohne weitere Transporte zu festen Produkten zu verarbeiten, die eine Endlagerung für die notwendigen Zeiträume sicher ermöglichen. Optimale Sicherheit wird schließlich erreicht, wenn sich das Endlager für diese Abfälle wiederum unmittelbar am Ort von Wiederaufarbeitung, Plutoniumverarbeitung und Abfallbehandlung befindet.

Diesen Gedanken folgend hat die Bundesregierung ein Konzept zur Entsorgung entwickelt und seine Realisierung eingeleitet:

- Alle genannten Anlagen einschließlich eines Lagerbeckens für die eingehenden abgebrannten Brennelemente werden als geschlossenes Entsorgungszentrum an einem Ort errichtet.
  Es hat sich allerdings wegen einiger zeitlicher Verzö-

gerungen als notwendig erwiesen, den Bau von Zwischenlagerbecken unabhängig von der endgültigen Standortfestlegung für das Entsorgungssystem durchzuführen. Das stellt jedoch keine Beeinträchtigungen des Gesamtkonzepts dar.

- Für die Standortauswahl ist damit wesentlich, daß geeignete geologische Formationen im tiefen Untergrund vorhanden sind, in die die radioaktiven Abfälle eingelagert werden können; bisher unberührte Salzstöcke in erdbebensicheren Zonen gelten dabei – auch nach internationaler Einschätzung – als hervorragend geeignet.
- Mittel- und schwachradioaktive Abfälle, die insgesamt nur etwa 1 % der Radioaktivität der abgebrannten Brennelemente enthalten, werden nach der Wiederaufarbeitung sofort verfestigt und endgelagert.
- Hochaktive Abfälle, die 99 % der Radioaktivität der abgebrannten Brennelemente enthalten und die sich durch den radioaktiven Zerfall in den vorliegenden Konzentrationen selbst erhitzen, können – wenn notwendig – als verfestigtes Produkt zwischengelagert werden; sie werden erst nach einer ausreichenden Erprobung des Endlagerkonzeptes endgelagert, wobei das gut leitende Salzgestein die Wärme abführt.
- Alle Anlagen mit Ausnahme des Endlagers selbst werden von privaten Unternehmen geplant, finanziert und betrieben; der Staat genehmigt und kontrolliert in diesem Bereich nach den im Atomgesetz vorgegebenen Anforderungen. Dieses Konzept folgt dem Verursacherprinzip der Umweltschutzpolitik der Bundesregierung.
- Wegen der besonderen Aspekte hinsichtlich Sicherheit und Langfristigkeit übernimmt im Auftrag der Bundesregierung die Physikalisch-Technische Bundesanstalt die Zuständigkeit für das Endlager; das Verursacherprinzip findet hierbei dadurch Anwendung, daß die Betreiber von Kernkraftwerken als Ver-

ursacher kostendeckende Einlagerungsgebühren entrichten müssen.

– Die Bundesregierung fördert weiterhin die notwendigen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten; sie sichert zudem den politischen Rahmen für intensive internationale Zusammenarbeit und Erfahrungsaustausch.

Erste Überlegungen zu diesem Konzept führten bereits Anfang der 60er Jahre, als die ersten kleineren Reaktoren gebaut wurden, zum Ankauf des früheren Salzbergwerkes Asse II, in dem in Versuchen Techniken zur Endlagerung entwickelt und erprobt werden. Auf dem Gebiet der Wiederaufarbeitung beteiligte sich die Bundesrepublik an der multinationalen Wiederaufarbeitungsanlage Eurochemic in Belgien, die von 1966 an getrieben wurde. Eine eigene kleinere Wiederaufarbeitungsanlage wurde 1971 in Karlsruhe in Betrieb genommen. Zusammen mit den übrigen, größtenteils von der Bundesregierung geförderten Entwicklungsarbeiten und gestützt auf die Erfahrungen anderer Industriestaaten ist nunmehr ein Entwicklungsstand erreicht, der eine technische Realisierung wirtschaftlicher Großanlagen durch die deutsche Industrie möglich macht. Bundes- und Landesregierungen konnten daher vor etwa zwei Jahren beginnen, die Industrie – insbesondere die Elektrizitätsversorgungsunternehmen, die Kernkraftwerke nutzen – zu konkreten Schritten zu veranlassen; dies geschieht dadurch, daß die Genehmigung neuer Kernkraftwerke vom Fortgang der Arbeiten am Entsorgungszentrum abhängig gemacht wird, soweit nicht eine gleichwertige Entsorgung des betreffenden Kernkraftwerkes im Ausland nachgewiesen wird. Die Art der Genehmigungsvoraussetzungen wird sich mit der Zeit fortentwickeln, um einerseits den Fortgang der Arbeiten sicherzustellen, andererseits aber die

notwendige Energieversorgung der Bundesrepublik nicht zu gefährden.

Die Bundesregierung hatte Anfang 1977 folgende Mindestvoraussetzungen für neue 1. Teilerrichtungsgenehmigungen von Kernkraftwerken gefordert:

- die Standortvorauswahl muß abgeschlossen sein;
- das atomrechtliche Genehmigungsverfahren muß eingeleitet sein;
- die den zuständigen Bundesminister des Innern beratenden unabhängigen Kommissionen für Reaktorsicherheit und Strahlenschutz müssen die grundsätzliche sicherheitstechnische Realisierbarkeit des Entsorgungszentrums positiv beurteilt haben.

Diese Voraussetzungen sind inzwischen erfüllt.

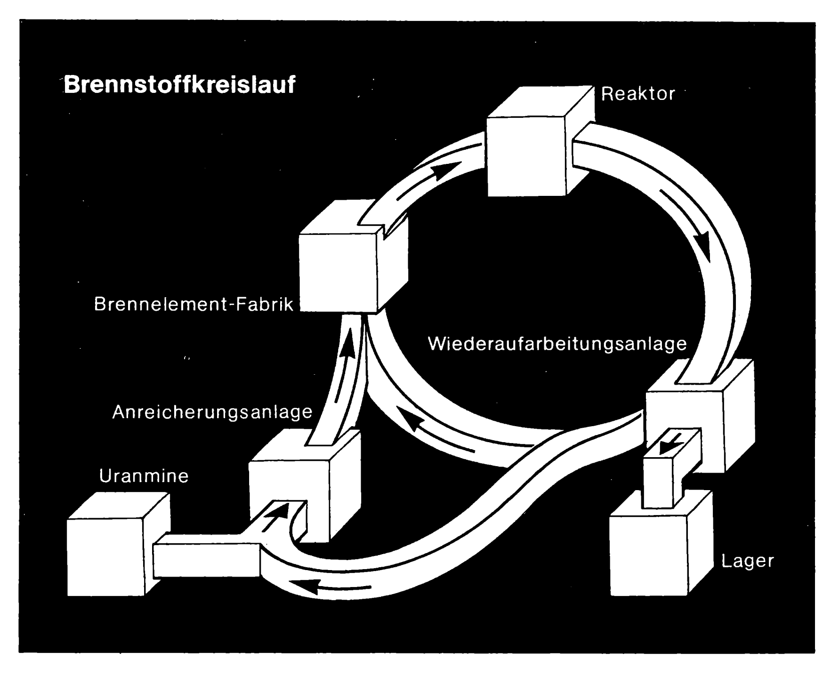
Die Investitionskosten für das gesamte Entsorgungszentrum, das 50 große Kernkraftwerke entsorgen kann, entsprechen etwa den Kosten von 2 Kernkraftwerken.

Mit diesem Konzept und den geschilderten Schritten zu seiner Realisierung entspricht die Bundesregierung zugleich der immer nachdrücklicher erhobenen Forderung der Öffentlichkeit, das Entsorgungsproblem zügig zu lösen.

Wiederaufarbeitung

Hauptzweck der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente ist die Trennung der verschiedenen Bestandteile – einerseits, um eine sichere Lagerung der radioaktiven Abfälle zu ermöglichen, andererseits, um den nutzbaren Brennstoff (Uran und Plutonium) wiederzugewinnen.

Das so zurückgewonnene Uran wird – teilweise nach einer erneuten Anreicherung – wiederum zu Kernbrennstoff verarbeitet. Wegen dieser Rückführung spricht man auch von Brennstoffkreislauf.



Das bei der Wiederaufarbeitung gewonnene Plutonium wird ebenfalls als Kernbrennstoff genutzt werden und damit zu Einsparungen an angereichertem Uran beitragen. Heute werden bereits solche plutoniumhaltigen Brennelemente in einigen Leichtwasser-Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland versuchsweise eingesetzt. Energiewirtschaftlich interessanter wäre der Einsatz von Plutoniumbrennstoff in Kernkraftwerken vom Typ der „Schnellen Brüter". Eine Rückführung des Plutoniums in den Kernbrennstoff von Reaktoren ist auch deshalb sinnvoll, weil dieses gefährliche Material hierbei teilweise wieder „verbrannt" wird; eine ständig wachsende Ansammlung von Plutonium, die zusätzliche Sicherheitsprobleme wie z. B. Entwendung seitens Dritter oder unfallbedingtes Entweichen in die Umwelt zur Folge hätte, wird dadurch vermieden.

Plutonium

Plutonium hat mit anderen Alpha-Strahlern gemein, daß die Reichweite dieser Strahlung sehr gering ist; so kann diese Strahlung z. B. die verhornten Schichten der menschlichen Haut nicht durchdringen. Ähnlich dem natürlich vorkommenden radioaktiven Element Thorium wird Plutonium allerdings gefährlich, wenn es vom Organismus aufgenommen wird. Wasserlösliche Verbindungen des Plutoniums werden über den Blutkreislauf zu den blutbildenden Zentren des Knochenmarks transportiert und rufen dort schwerwiegende Veränderungen hervor, die zu Leukämie führen. Als Staub ein-

geatmet, kann Plutonium in der Lunge krebsartige Gewebsveränderungen hervorrufen. Die Giftigkeit von Plutonium ist außerordentlich hoch; auch wenn es wesentlich giftigere, auch krebshervorrufende chemische Gifte gibt, z. B. die Aflatoxine, stellt Plutonium doch wegen der großen Mengen, in denen es anfällt, einen besonderen Risikofaktor bei der Kernenergie-Nutzung dar. Die Strahlenschutzbestimmungen sehen daher für die Abgabe von Plutonium aus kerntechnischen Anlagen spezielle Höchstwerte vor; das Gesundheitsrisiko durch Plutonium bleibt dadurch im Rahmen dessen, was bei der Kernenergie-Nutzung insgesamt an zumutbaren Risiken auftritt.

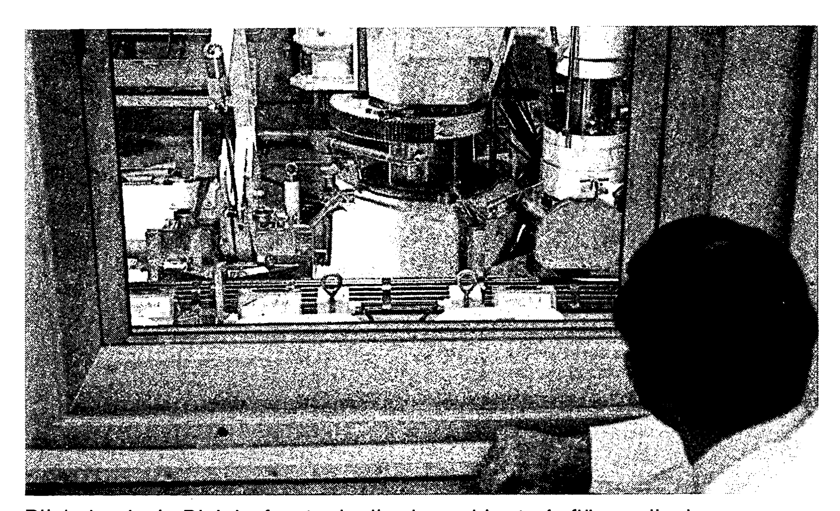
Plutonium kann prinzipiell auch als Spaltstoff für Kernwaffen verwendet werden und unterliegt deshalb den im Atomsperrvertrag festgelegten internationalen Kontrollen. In den heutigen Leistungsreaktoren mit Wasserkühlung entstehen allerdings neben dem bombengeeigneten Isotop Plutonium-239 auch höhere Plutoniumisotope, die die Waffenwirkung stark behindern. Bei Einsatz der bekanntgewordenen Waffentechnologie bliebe eine mit solchem „Reaktorplutonium" gebaute Bombe in ihrer Sprengwirkung hinter konventionellen Bomben zurück.

Eine Wiederaufarbeitungsanlage ist eine chemische Fabrik. Sie wirft andere Sicherheitsprobleme auf als ein Kernkraftwerk. Sie arbeitet nicht mit hohen Drücken und Temperaturen. Ihr Betrieb wird jedoch durch die starke, offene Radioaktivität des verarbeiteten Materials wesentlich erschwert. Die Brennelemente werden zunächst in kurze Stücke zerhackt, so daß ihr Inhalt mit

Salpetersäure aus dem Hüllmaterial herausgelöst werden kann. Die leeren Hülsen werden als fester radioaktiver Abfall zum Endlager gebracht. Der gelöste Inhalt der Brennstäbe wird nun durch chemische Verfahren in wiederverwertbare Uran- und Plutoniumverbindungen sowie Abfallprodukte getrennt.

Dieser Umgang mit zum Teil hochradioaktivem Material, das nicht mehr von den Brennstabhüllen eingeschlossen ist, erfordert besondere Sicherheitsvorkehrungen. Der gesamte Prozeß läuft vollautomatisiert ab; das Personal, das durch dicke Betonmauern und Bleiglasfenster vor unzulässiger Bestrahlung geschützt ist, kann nur über Fernsteuerungssysteme eingreifen oder Wartungs- und Reparaturarbeiten ausführen.

Die Technik der Wiederaufarbeitung wurde zunächst im Ausland für militärische Programme entwickelt. Der be-



Blick durch ein Bleiglasfenster in die abgeschirmte Auflöserzelle der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe.

strahlte Brennstoff aus Reaktoren, die Plutonium für Bomben erzeugen sollen, und der abgebrannte Brennstoff aus Kernkraftwerken unterscheiden sich jedoch nach Isotopenzusammensetzung und Radioaktivität. Die Verarbeitung des höher radioaktiven Brennstoffs aus Leistungsreaktoren in den ersten Stufen einer Wiederaufarbeitungsanlage bereitet erhebliche technische Schwierigkeiten. Sie sind jedoch nicht grundsätzlicher Art, wie z. B. bei der europäischen Anlage „Eurochemic" in Belgien mehrere Jahre erfolgreich demonstriert wurde.

Ein besonderes Problem von Wiederaufarbeitungsanlagen besteht darin, daß bei der Auflösung des Brennstoffs radioaktive Gase frei werden. Bei einer großen Wiederaufarbeitungsanlage müssen daher technische Systeme installiert werden, die diese Gase in der Anlage so weitgehend zurückhalten, daß die Strahlenschutzvorschriften eingehalten werden. Die Entwicklung solcher Systeme, insbesondere für Krypton und Tritium, ist derzeit noch nicht abgeschlossen. Der Stand der Entwicklungsarbeiten läßt jedoch erwarten, daß solche Vorrichtungen so rechtzeitig zur Verfügung stehen werden, daß die Anlagen den Strahlenschutzbestimmungen entsprechend in Betrieb genommen werden können. Die Rückhaltung von Jod aus den Auflöserabgasen ist inzwischen erfolgreich demonstriert. Die Bundesrepublik verfügt gegenwärtig nur über eine kleine Versuchsanlage zur Wiederaufarbeitung (Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe, WAK). Eine große, auf den Bedarf von etwa 50 Kernkraftwerken zugeschnittene Anlage wird gegenwärtig von der Industrie geplant. Sie soll Ende der achtziger Jahre in Betrieb gehen. Vorher wird es aufgrund internationaler Verträge möglich sein, Wiederaufarbeitungsanlagen Frankreichs und Großbritanniens mitzubenutzen. Die Kapazität dieser Anlagen wird jedoch nicht ausreichen, so daß

ein Teil der Brennelemente in Sammelbecken gelagert werden muß.

Wiederaufarbeitungsanlagen in der westlichen Welt

US-Anlagen und ihre Betriebserfahrungen (Militärprogramm und Material-Test-Reaktoren)

Hanford (7 Anlagen)	1945 – heute	121 Anlagenjahre
Savannah River (2 Anlagen)	1954 – heute	43 Anlagenjahre
Idaho (1 Anlage)	1953 – heute	23 Anlagenjahre
Schnellbrüter-WA-Pilotanlagen	1964 – 1969	5 Anlagenjahre
Oak Ridge (3 Pilotanlagen)	1952 – heute	45 Anlagenjahre

Sonstige Anlagen

Anlage	Land	Brennelementtyp	Jahre
Windscale I	England	Magnox	1952–1964
Windscale II	England	Magnox, LWR	1964–heute
Dounreay I*	England	Magnox	1958–heute
Marcoule	Frankreich	Magnox	1958–heute
Dounreay II	England	Schnellbrüter	1960–heute
NFS	USA	LWR	1966–1972
Eurochemic	Belgien	MTR**, LWR	1966–1974
La Hague	Frankreich	Magnox, LWR	1966–heute
WAK*	Deutschland	LWR	1970–heute
Eurex I*	Italien	MTR**	1970–heute
Tarapur	Indien	Candu, LWR	1976–heute
Itrec	Italien	Pilotanlage	1969–heute
Kjeller	Norwegen	Pilotanlage	1961–1968
Trombay	Indien	Pilotanlage	1965–heute

* Demonstrationsanlagen
** MTR ist Abkürzung für Materialtestreaktor

Lagerung radioaktiver Abfälle

Radioaktive Abfälle entstehen in allen Teilen des Brennstoffkreislaufs und auch im Kernkraftwerk selbst, in dessen verschiedenen Filteranlagen sich feste, flüssige und gasförmige Rückstände sammeln. Auch an die spätere Beseitigung radioaktiv gewordener Bauteile von kerntechnischen Anlagen ist hierbei zu denken.

Die Beseitigung dieser Abfälle gehört zu den größten Problemen, die die Nutzung der Kernenergie mit sich bringt, denn ihre Gefährlichkeit bleibt trotz des fortwährenden Zerfalls teilweise über Zehntausende von Jahren erhalten.

In der Bundesrepublik wird zur Lösung dieses Problems ein Konzept verfolgt, das die endgültige Lagerung nach Versiegelung des Endlagers von menschlicher Betreuung und Bewachung unabhängig macht. Es gilt auch in anderen Ländern als optimal. Dieses Konzept umfaßt die Verfestigung der Abfälle und die Einlagerung in tiefliegende Salzstöcke. Dazu werden schwachaktive Abfälle, wie z. B. Abfälle medizinischer Labors oder Geräte zur Fernbedienung, nach Verfestigung in Zement in Stahlblechfässer dicht verpackt. Mittelaktive Abfälle, die z. B. im Kernkraftwerk vor allem in flüssiger Form anfallen, werden durch Zumischen von Zement, Bitumen oder anderen Bindemitteln verfestigt und ebenfalls in Stahlfässern dicht verschlossen.

Hochaktive Abfälle sind in der Bundesrepublik Deutschland bisher kaum angefallen, da sie nur in Wiederaufarbeitungsanlagen auftreten. Dieser Abfall umfaßt nur 1 % des Volumens, aber 99 % der Radioaktivität der gesamten Abfälle. Der wesentliche Unterschied zu schwach- und mittelaktiven Abfällen besteht in der star-

ken Wärmeentwicklung infolge der Zerfallsprozesse im hochaktiven Abfall. Als technische Lösung dieses Problems zeichnet sich ab, die Abfälle mit geeigneten Materialien zu verschmelzen und in Edelstahlbehältern zu verschließen. Diese Behälter sollen dann in etwa 1000 m Tiefe in Bohrlöchern in Salzstöcken eingelagert werden.

Die Wahl von Salzformationen als Endlager für radioaktive Abfälle ist im wesentlichen dadurch begründet, daß solche Salzstöcke bereits seit Millionen von Jahren ohne Verbindung zum Grundwasser existieren. Sie bieten somit hinreichende Sicherheit, daß die eingelagerten Abfälle nicht mit dem Lebensbereich von Mensch, Tier und Pflanzen in Berührung kommen. Wesentlich für die Auswahl der Endlagerstätte ist eine hohe Reinheit des Salzstocks, der nur geringe Einschlüsse von Carnallit und Anhydrit aufweisen sollte.

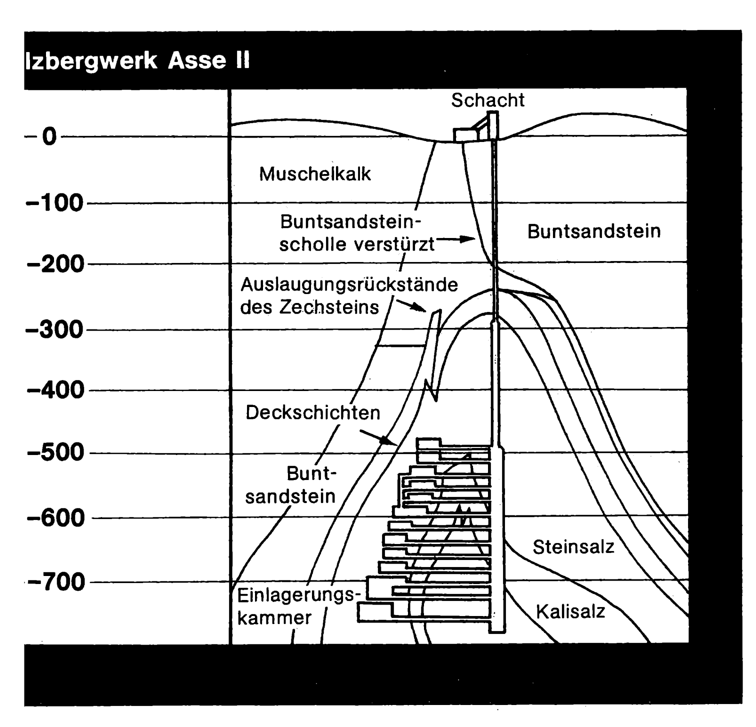
Nach diesem Vorbild werden inzwischen auch hochgiftige chemische Substanzen (Sonderabfälle), deren Gefährlichkeit mit der Zeit nicht abnimmt (z. B. Quecksilberverbindungen), in dem stillgelegten Kali-Salzbergwerk Herfa-Neurode in Hessen endgelagert.

Die End-Lagerstätten einschließlich ihrer Zugänge sollen nach Abschluß der Einlagerung mit Salzbeton aufgefüllt und damit versiegelt werden, so daß keine ständige Wartung und Beaufsichtigung mehr nötig ist.

Die prinzipiellen Probleme dieser Einlagerungstechnik sind gelöst. Zur Zeit wird jedoch noch an der optimalen technischen Gestaltung der Endlagerung radioaktiver Abfälle gearbeitet. Hierbei dient das frühere Salzbergwerk Asse II bei Wolfenbüttel in Niedersachsen als Versuchsanlage. Hochaktive Abfälle werden erst dann endgültig abgelagert werden, wenn alle noch nicht ab-

schließend geklärten Probleme zufriedenstellende Lösungen erfahren haben. Bis dahin werden Einrichtungen zur Sicherstellung hochaktiver Abfälle (Zwischenlager) errichtet, die – wie Kernkraftwerke, Wiederaufarbeitungsanlagen und Plutonium-Verarbeitungsanlagen – auch bei Erdbeben, Flugzeugabsturz oder Terroranschlägen ausreichend große Sicherheit vor dem Austritt radioaktiver Substanzen bieten.

Die Stahlfässer mit den schwach- und mittelaktiven Abfällen werden im Rahmen von umfangreichen Versuchsprogrammen zum Teil schon heute unter staatlicher Aufsicht in dem stillgelegten Salzbergwerk



Asse II abgelagert. Später können sie unmittelbar am Standort des Entsorgungszentrums eingelagert werden.

Mit der beantragten Verwirklichung des Entsorgungszentrums, in welchem die Anlagen zur Lagerung und Aufarbeitung abgebrannter Brennelemente, zur Kernbrennstoffrückführung, zur Abfallbehandlung und zur Sicherstellung und Endlagerung radioaktiver Abfälle räumlich konzentriert sein werden, wird eine bezüglich Strahlenschutz, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit optimale Lösung angestrebt. Der Staat hat dabei die Verantwortung für die Sicherstellung und Endlagerung der radioaktiven Abfälle. Die dafür erforderlichen Aufwendungen werden den Kernkraftwerksbetreibern angelastet und werden damit im Preis für den „Atomstrom" enthalten sein.

Sicherheit des Brennstoffkreislaufs

Der Umgang mit Kernbrennstoff und radioaktiven Abfällen erfordert in mehrfacher Hinsicht hohe Sicherheitsvorkehrungen; alle Anlagen und Behälter werden daher vor und nach der behördlich zu erteilenden Genehmigung gründlich geprüft und kontrolliert. Dabei werden unabhängige Gutachter hinzugezogen, insbesondere von den Technischen Überwachungsvereinen sowie aus staatlichen Einrichtungen wie z. B. der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt oder der Bundeanstalt für Materialprüfung.

Zum einen muß gewährleistet sein, daß bei normalem Betrieb der Anlagen und beim Transport radioaktiver Stoffe keine unzulässige Strahlenbelastung der Beschäftigten oder der Umwelt auftritt. Auch bei Störfällen in den Anlagen oder Ereignissen wie Flugzeugabsturz, Erdbeben u. ä. darf diese Sicherheit nicht gefährdet sein.

Zum anderen ist ein Schutz der Anlagen und Transporte vor terroristischen Anschlägen notwendig. Auch wenn radioaktive Abfälle und insbesondere Plutonium von einzelnen oder terroristischen Gruppen nur unter Inkaufnahme einer sehr hohen, wahrscheinlich tödlichen Strahlenbelastung verwendet oder gar verarbeitet werden können, sind doch technische und organisatorische Schutzmaßnahmen vorgesehen. Die Einzelheiten der getroffenen Maßnahmen können aus verständlichen Gründen nicht öffentlich dargestellt werden.

Hinsichtlich der Endlager radioaktiver Abfälle in Salzformationen wurde bereits dargestellt, daß nach Abschluß der Einlagerung und Auffüllung des Lagers keine Bewachung mehr nötig ist.

Der größte denkbare Störfall bei der Einlagerung der radioaktiven Abfälle liegt bei einem Wassereinbruch in das Endlager während der Betriebszeit. Hiergegen werden technische Maßnahmen ergriffen. Zusätzlich bietet die Tatsache Sicherheit, daß Glas sich in Salzlauge praktisch nicht löst und daß sich dicke Salz- und Gebirgsschichten zwischen den radioaktiven Abfällen und dem Lebensraum von Menschen, Tieren und Pflanzen befinden. Unterstellt man in Gedanken trotz der Unlöslichkeit von Glas schon 1000 Jahre nach der Einlagerung eine vollständige Auflösung der radioaktiven Abfälle in einer Salzlauge, so läßt sich zeigen, daß die Giftigkeit dieser Lauge in einer Kaverne nicht größer wäre

als die eines natürlich vorkommenden Uranerzlagers, wo vor allem die Uranzerfallsprodukte die Giftigkeit bestimmen. Bei der Art der vorgesehenen Einlagerung (Verfüllen benutzter Endlagerkammern) und wegen der günstigen plastischen Eigenschaften des Salzgesteins führen Erdbeben nicht zur Freisetzung von Radioaktivität.

Die Eignung der Isotope Uran-235 und Plutonium-239 zum Bau von Atombomben erfordert ein zusätzliches Kontrollsystem für diese Stoffe; denn die Verbreitung der Kernenergie darf nicht dazu beitragen, daß weitere Staaten in den Besitz von Kernwaffen gelangen. Der Nichtverbreitungsvertrag vom 1. Juli 1968 (Atomwaffensperrvertrag), dem die Bundesrepublik beigetreten ist, sieht zu diesem Zweck vor, daß die Verwendung von angereichertem Uran und Plutonium internationalen Kontrollen unterliegt, um ihre ausschließlich friedliche Nutzung zu überwachen. Auch beim Export solcher Materialien oder der Technologien, die zu ihrer Herstellung dienen, verlangt die Bundesregierung ihre ausschließlich friedliche Nutzung sowie entsprechende internationale Kontrollen im Empfängerland. Zusammen mit anderen Staaten, die Kernenergie nutzen, bemüht sich die Bundesregierung um eine Weiterentwicklung dieser Kontrollen.

Die hauptsächlichen Umweltgesichtspunkte

Kernkraftwerke und die zu ihrer Ver- und Entsorgung nötigen Anlagen beeinflussen auf vielfältige Weise die Umwelt. Ganz spezifisch für Kernenergie ist hierbei die ständige Abgabe geringer Mengen radioaktiver Substanzen an die Umgebung, die selbst bei größtem technischem und finanziellem Aufwand für Filter und andere Reinigungsanlagen nicht vollständig zurückgehalten werden können.

Das Problem, große Wärmemengen an die Umgebung abgeben zu müssen (sogenannte Abwärme), tritt nicht nur bei Kernkraftwerken, sondern auch bei Kohle-, Öl- oder Gaskraftwerken auf. Da jedoch Kernkraftwerke in größeren Einheiten gebaut werden und je erzeugter Kilowattstunde etwa 30 % mehr Abwärme abführen müssen, ist dieses Problem bei Kernkraftwerken von besonderer Bedeutung.

Andere Beeinträchtigungen der Umwelt, z. B. Eingriffe in das Landschaftsbild oder den Grundwasserhaushalt, treten bei anderen Energie-Erzeugungsmethoden vergleichbar auf. Auch diese Auswirkungen werden im Genehmigungsverfahren einer Anlage geprüft und können Anlaß für Ablehnung eines Antrages oder für Auflagen bei Bau und Betrieb sein.

Den in den folgenden Abschnitten erläuterten Umweltproblemen der Kernenergie steht gegenüber, daß erhebliche Umweltbelastungen durch Kohle- oder Ölverbrennung bei der Kernenergienutzung vermieden wer-

den. Die Belastung unserer Atemluft mit Schwefel- und Stickstoffoxiden, mit Staub und anderen Verbrennungsrückständen ist nicht nur unangenehm – man denke nur an die Geruchsbelästigungen oder an die Schäden an historischen Gebäuden wie z. B. dem Kölner Dom –, sondern auch gesundheitsgefährdend.

Auch wenn der Zusammenhang zwischen dieser Luftverschmutzung und Erkrankungen wissenschaftlich noch nicht vergleichbar gut bestimmt ist wie bei der Wirkung der Strahlung radioaktiver Substanzen, so ist ein solcher Zusammenhang doch unzweifelhaft erwiesen.

Die neuen Vorschriften der Bundesregierung zur Reinhaltung der Luft werden zwar zu einer spürbaren Verbesserung der Situation beitragen, verschlechtern aber wegen der hohen Kosten der erforderlichen technischen Einrichtungen die Wettbewerbsfähigkeit der Stromerzeugung aus fossilen Brennstoffen weiter.

Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß die fortwährende Anreicherung des Kohlendioxids, des Verbrennungsproduktes von fossilen Brennstoffen, in der Atmosphäre weltweite Auswirkungen auf das Klima haben kann.

Strahlenbelastung durch Kernenergie-Anlagen

Die Strahlung radioaktiver Stoffe besteht aus energiereichen Teilchen oder Strahlen, die beim Durchdringen von Materie abgebremst werden und dabei Energie abgeben. Auch wenn teilweise wesentliche physikalische Unterschiede bestehen, kann diese Strahlung in ihrer Wirkung mit den Röntgenstrahlen verglichen werden, die in der Medizin benutzt werden.

Trifft solche Strahlung auf eine lebende Zelle, die Grundeinheit lebender Wesen, so kann diese infolge der Ionisierungsvorgänge abgetötet werden; es können aber auch bisher nicht vollständig erforschte Vorgänge ausgelöst werden, die das Verhalten und die Erbinformation der Zelle ändern. Das zeigt, warum radioaktive Stoffe so gefährlich sind: ihre Strahlung kann bei sehr großer Intensität töten, sie kann aber auch schon bei kleineren Strahlungsmengen Leukämie und Krebs verursachen, da sie gesunde Zellen in Krebs-Zellen verwandeln kann. Diese Erkrankungen treten teilweise erst viele Jahre nach der Bestrahlung auf. Auch Ei- und Samenzellen können von dieser Strahlung so verändert werden, daß die Nachkommen Mißbildungen aufweisen.

In welchem Umfang solche Wirkungen an bestrahlten Lebewesen auftreten, hängt von vielen Faktoren ab. Wesentlich ist vor allem, wieviel und auf welche Weise Strahlungsenergie auf den Organismus übertragen wird. Aufgrund wissenschaftlicher Erfahrung kann man aus Strahlungsart und -energie das ungefähre Ausmaß der biologischen Wirkung der Strahlung berechnen. Als Maßeinheit der Strahlenwirkung auf den Menschen hat

man die Einheit „rem" eingeführt, deren 1000ster Teil als Millirem, abgekürzt „mrem", bezeichnet wird.

Auch wenn die ganz konkrete Wirkung einer bestimmten Strahlendosis noch von weiteren Faktoren bestimmt wird, z. B. von der Art des bestrahlten Gewebes und dem zeitlichen Ablauf der Bestrahlung, so läßt sich doch die Gefährlichkeit einer Strahlung überschlägig an ihrer rem-Zahl ablesen; kennt man diese Zahl, ist es nicht mehr erheblich, welche radioaktive Substanz Ursache der Strahlung ist.

Die Strahlenschutzbestimmungen sind daher so gestaltet, daß für die Bevölkerung keine höheren Strahlenbelastungen auftreten als einer bestimmten mrem-Zahl pro Jahr entspricht. Darüber hinaus gilt der Grundsatz, die Strahlung so gering wie möglich zu halten, also die behördlich vorgeschriebenen Grenzwerte möglichst zu unterschreiten. Bei der Festlegung der Grenzwerte berücksichtigt man, daß die Natur selbst seit Bestehen unseres Planeten radioaktiv ist, der Mensch also ständig einer natürlichen Strahlenbelastung ausgesetzt ist. Man unterscheidet drei Arten von natürlicher Strahlung:

Zum einen verursacht ein Bombardement energiereicher Teilchen aus dem Weltraum, die sogenannte kosmische Strahlung, eine ständige Strahlenbelastung, die stark von der Höhenlage abhängt. Während die jährliche kosmische Strahlenbelastung z. B. in Hamburg 31 mrem beträgt, beträgt sie in München 36 mrem und auf dem Feldberg im Schwarzwald 54 mrem. Mit wachsender Höhe steigt sie immer stärker an; so beträgt sie auf der Zugspitze bereits 164 mrem pro Jahr. Bei Flügen in großer Höhe tritt eine zustäzliche Strahlenbelastung von 1 mrem bereits nach einigen Stunden auf.

Zum zweiten ist vor allem das überall vorhandene Uran,

aber auch einige andere seit der Erdentstehung vorhandene radioaktive Elemente, vor allem Radium und Thorium, Ursache der überall vorhandenen terrestrischen Strahlung. In der Bundesrepublik führt diese Strahlung zu einer mittleren Belastung des Menschen mit etwa 50 mrem pro Jahr; je nach Bodenbeschaffenheit beträgt die terrestrische Strahlenbelastung in einigen Gegenden nur 30 mrem pro Jahr, in anderen deutlich über 100 mrem pro Jahr. Auch die Wahl der Baustoffe unserer Häuser hat wegen ihres unterschiedlichen Gehalts an natürlichen radioaktiven Stoffen unter Umständen erheblichen Einfluß auf die Höhe der Strahlenbelastung des Menschen.

Zum dritten nehmen wir beim Essen, Trinken und Atmen ständig auch natürlich radioaktive Stoffe zu uns; diese radioaktiven Stoffe lagern sich in verschiedenen Körperteilen und Organen ab. Dies führt zu einer zusätzlichen Strahlenbelastung „von innen" von etwa 30 mrem pro Jahr.

Nimmt man alle diese natürlich vorhandenen Strahlenbelastungen des Menschen zusammen, so ergibt sich eine mittlere Strahlendosis von 100–110 mrem pro Jahr, denen die Menschheit in ihrer gesamten Entwicklungsgeschichte ausgesetzt war. Wie die Karte zeigt, betragen die Unterschiede zwischen einzelnen Regionen der Bundesrepublik Deutschland für größere Bevölkerungsgruppen bis zu 30 mrem pro Jahr. Für einzelne Personen können sich Unterschiede bis zu 250 mrem pro Jahr ergeben.

Natürliche Strahlenbelastung in der Bundesrepublik für verschiedene Teile des Körpers in mrem pro Jahr

Kiel
Hamburg
Bremen
Osnabrück
Hannover
Berlin
Essen
Kassel
Köln
Frankfurt
Saarbrücken
Nürnberg
Stuttgart
München

	Gonaden	Knochen-mark	innere Knochen-haut
	96,5–104,1	92,8–100,3	95,5–103,1
	101,1–109,1	97,3–105,3	100,1–108,1
	106,1–114,1	102,3–110,3	105,1–113,1
	110,6–123,6	105,8–119,5	109,6–122,5

Nach der seit Jahren angewandten Genehmigungspraxis und der neuen Strahlenschutzverordnung von 1976 wird von kerntechnischen Anlagen gefordert, daß durch die Abgabe radioaktiver Stoffe im Normalbetrieb an die Luft an keiner Stelle in der näheren oder weiteren Umgebung der Anlage eine zusätzliche Strahlenbelastung von mehr als 30 mrem, also 3hundertstel rem, pro Jahr auftritt. Dieser Wert ist gerade so groß wie die ohnedies vorhandenen regionalen Unterschiede in der natürlichen Strahlenbelastung. Für die Ableitung radioaktiver Stoffe in Gewässer gilt der gleiche Höchstwert. Da diese Strahlenbelastung des gesamten Körpers auch eingehalten würde, wenn einzelne Organe sehr viel stärker, andere Körperteile dafür sehr viel weniger belastet werden, gelten zusätzliche Höchstwerte für besonders gefährdete Organe. Die Schilddrüse reichert z. B. vom Körper aufgenommenes Jod stark an. Deshalb wird die Abgabe von radioaktivem Jod aus kerntechnischen Anlagen so begrenzt, daß eine Schilddrüsen-Belastung von mehr als 90 mrem pro Jahr im ungünstigsten Fall nicht überschritten wird. Die neue Strahlenschutzverordnung fordert darüber hinaus, auch für den Störfall für die Einhaltung von Belastungshöchstwerten Vorsorge zu treffen; diese Störfall-Höchstwerte entsprechen im wesentlichen den nachfolgend geschilderten Werten für beruflich mit Radioaktivität oder Strahlung umgehende Personen.

Ebenso wie auch in anderen Bereichen von Wirtschaft und Gesellschaft bestimmte Berufsgruppen höheren Risiken ausgesetzt sind als die Allgemeinheit, gelten für Personen, die in kerntechnischen Anlagen arbeiten oder in anderen Bereichen beruflich mit ionisierenden Strahlen umzugehen haben, im wesentlichen etwa 150 mal höhere Grenzwerte. Diese beruflich Strahlen ausgesetzten Personen werden über ihr besonderes Strahlenrisiko unterrichtet und unterliegen einer ständigen,

ärztlich kontrollierten Strahlenschutzüberwachung. Entsprechende Regelungen sind in der Strahlenschutzverordnung für die Bundesrepublik Deutschland rechtlich festgelegt.

Bei der Festlegung, wieviel Radioaktivität eine kerntechnische Anlage an Luft und Wasser abgeben darf, wird berücksichtigt, wie sich die abgegebenen radioaktiven Stoffe in der Umgebung verhalten. Nur aus der Kenntnis heraus, in welcher Weise sich diese radioaktiven Stoffe in Nahrungsmitteln ansammeln, kann beurteilt werden, zu welcher Strahlenbelastung des Menschen sie führen. Hierbei verläßt man sich nicht nur auf wissenschaftliche Erkenntnisse und Erfahrungen, die weltweit ausgetauscht werden, sondern man kontrolliert ständig die Radioaktivität der Umgebung von kerntechnischen Anlagen sowie den Gehalt radioaktiver Stoffe in den landwirtschaftlichen Produkten. Das Ergebnis dieser und anderer Kontrollmessungen legt die Bundesregierung jährlich dem Bundestag und der Öffentlichkeit in einem Bericht „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung" dar. Der letzte bisher veröffentlichte Bericht aus dem Jahr 1975 hat ergeben, daß die mittlere zusätzliche Strahlenbelastung der Bevölkerung durch kerntechnische Anlagen weniger als 1 mrem pro Jahr betrug, während die mittlere Strahlenbelastung durch die früheren Atomwaffenversuche noch bis zu 8 mrem pro Jahr verursachte und die mittlere Strahlenbelastung der Bevölkerung durch Untersuchungen und Behandlungen mit Röntgenstrahlen bei 50 mrem pro Jahr lag. Es soll nicht behauptet werden, daß die Angabe von Mittelwerten von Röntgenstrahlen alle Aspekte eines Vergleichs richtig zu beurteilen erlauben. Das Verhältnis von 50:1 zeigt jedoch, daß die von der Bundesregierung in Gang gesetzten Forschungsarbeiten zur Verminderung der medizinisch notwendigen Strahlendosen das Gesundheitsrisiko durch Strahlen

wirkungsvoller und auf volkswirtschaftlich vorteilhaftere Weise vermindern können als ein allgemeines Verbot der Kernenergie.

Auch bei dem vorgesehenen Zubau kerntechnischer Anlagen soll nach der Zielvorgabe der Bundesregierung durch weitere Verbesserungen der Technik eine mittlere Strahlenbelastung der Bevölkerung durch die Nutzung der Kernenergie 1 Prozent der natürlichen Strahlenbelastung nicht überschreiten. Nach dem gegenwärtigen Stand der entsprechenden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten erscheint dieses Ziel realisierbar.

Es muß angenommen werden, daß auch die hier besprochenen kleinen jährlichen Strahlungsdosen, also die 100 mrem der natürlichen Strahlung, die 50 mrem der medizinisch angewandten Röntgenstrahlung, die bis zu 8 mrem durch radioaktive Spaltprodukte der Atombombenversuche und der Beitrag von weniger als 1 mrem aus kerntechnischen Anlagen, Auswirkungen auf die Zahl der Krebs- und Leukämiefälle bzw. der Mißbildungen bei Neugeborenen haben. Die Auswirkungen selbst der 100 mrem natürlicher Strahlenbelastung sind jedoch so gering, daß sie nicht direkt oder statistisch nachgewiesen werden können. Schätzungen, nach denen eine jährliche Mehrbelastung von 1 mrem in der Bundesrepublik zu einigen zusätzlichen Fällen pro Jahr an Krebs- oder Leukämieerkrankung oder Mißbildungen an Neugeborenen führen könnte, beruhen daher auf den nicht mit Sicherheit anwendbaren Erfahrungen mit sehr viel höheren Strahlendosen (1 bis 5000 rem = 1000 bis 5 000 000 mrem), wie sie bei der atomaren Zerstörung von Hiroshima und Nagasaki im 2. Weltkrieg aufgetreten sind. Tierversuche und einzelne Strahlenunfälle haben zusätzliche Aufschlüsse geliefert.

Unter der Vielfalt der nachgewiesenen und vermuteten Ursachen der jährlich mehr als 100 000 Krebs-, Leukämie- und Mißbildungsfälle in der Bundesrepublik können die geringen Auswirkungen der Schwankung der natürlichen Strahlenbelastung und um so weniger deren geringfügige Erhöhung durch die Kernenergienutzung nicht direkt nachgewiesen werden. Es bleibt aber der wissenschaftlich begründete Verdacht, daß einige dieser Fälle durch die Kernenergienutzung verursacht sein können. Es ist jedoch sicher, daß dieses Risiko um ein Vielfaches kleiner ist als viele natürlich oder technisch bedingte Risiken, denen wir täglich ausgesetzt sind. Das schließt nicht nur die Risiken hinsichtlich Unfällen oder Krankheiten ein, sondern auch die Risiken von Erbschäden, für die in unserem technischen Zeitalter z. B. auch durch chemische Substanzen eine Vielzahl von möglichen Ursachen besteht.

Soweit wurde nur diskutiert, welche Auswirkungen der Betrieb kerntechnischer Anlagen hat, wenn keine nicht mehr beherrschbaren Unfälle durch technisches oder menschliches Versagen oder durch gewaltsame Eingriffe passieren. In diesen extrem unwahrscheinlichen, aber doch nicht völlig auszuschließenden Fällen könnte es zu einer wesentlich größeren Strahlenbelastung in der betroffenen Gegend kommen. Die Wahrscheinlichkeit und die möglichen Auswirkungen eines solchen Katastrophenfalles werden später am Beispiel eines Kernkraftwerks besprochen und mit anderen Katastrophen-Risiken verglichen.

Das Abwärmeproblem

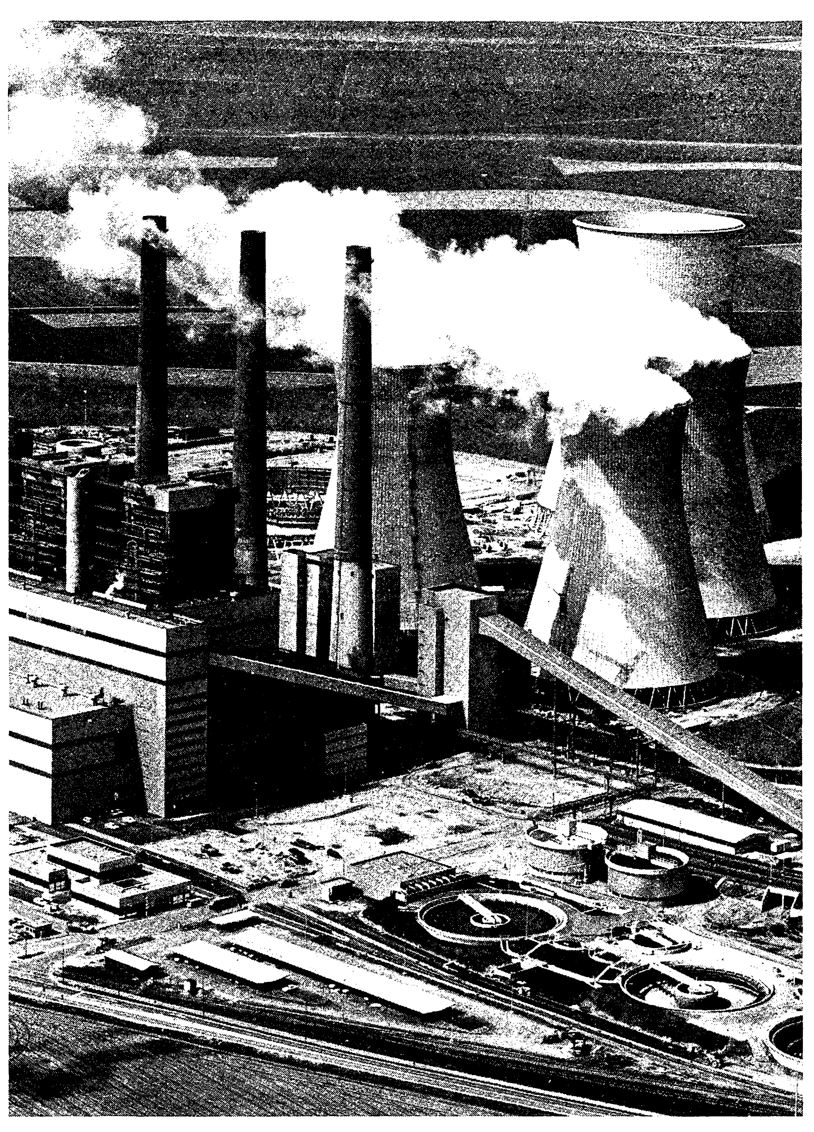
Alle Maschinen, die aus Wärme mechanische Energie gewinnen und diese dann in elektrische umsetzen, haben einen aus den physikalischen Naturgesetzen resultierenden Nachteil: sie können nur einen Teil der Wärme in Strom verwandeln. Bei einem modernen Öl- oder Kohlekraftwerk etwa werden nur rund 40 Prozent der erzeugten Wärme zu elektrischer Energie. Bei einem Kernkraftwerk mit Leichtwasserreaktor sind es etwa 33 Prozent. Dies liegt an der etwas niedrigeren Dampftemperatur, die diese Kernkraftwerke im Vergleich zu fossil beheizten Anlagen erreichen. Da der nicht verwendbare Teil der Wärme (Abwärme) bis heute ungenutzt an die Umgebung abgegeben wird, werfen Kernkraftwerke in dieser Hinsicht etwas größere Probleme auf als konventionelle Kraftwerke.

Das Abwärme-Problem verschärft sich noch dadurch, daß Kernkraftwerke aus Gründen der Wirtschaftlichkeit in größeren Einheiten gebaut werden als fossil beheizte Kraftwerke. Aus diesem Grund wird Abwärme im Zusammenhang mit Kernkraftwerken besondes intensiv diskutiert, obwohl sie im Prinzip keine Besonderheit der Kernenergie darstellt.

Die wirksamste und billigste Methode, die am Kondensator anfallende Abwärme abzuführen, ist die Frischwasserkühlung. Da Kraftwerke hierzu große Mengen an Kühlwasser brauchen, stehen sie normalerweise an Flüssen. Konventionelle Wärmekraftwerke mit 1000 Megawatt elektrischer Leistung benötigen bei einer zugelassenen Kühlwassererwärmung von zehn Grad Celsius etwa 35 Kubikmeter Kühlwasser pro Sekunde, gleich große Kernkraftwerke rund 50 Kubikmeter. Die Gefährdung unserer Flüsse resultiert aus dem Zusam-

menwirken von Erwärmung und der Belastung durch Schmutzstoffe, die von Industrie, Haushalten und Landwirtschaft eingeleitet worden sind. Verschmutzung und Erwärmung zusammen bewirken u. a. eine Steigerung des Sauerstoffverbrauchs der im Fluß lebenden Organismen. Dies kann zu einer vollständigen Erschöpfung des Sauerstoffgehalts führen – dem „Umkippen" des Flusses. Wegen dieser Gefahr wird die Wärmebelastung der Flüsse behördlich geregelt. Jede größere Kühlwasserentnahme und Wärmeeinleitung muß wasserrechtlich genehmigt werden; dabei werden Temperatur und Wasserführung des betreffenden Flusses berücksichtigt und dafür gesorgt, daß weder die Aufwärmespanne noch die Flußtemperatur insgesamt verantwortbare Werte übersteigt. In der Regel wird die zugelassene Aufwärmung des Flusses gegenüber seiner natürlichen Temperatur auf etwa 3°, in Ausnahmefällen auf bis zu 5° Celcius begrenzt.

Da diese Grenzwerte bei der Errichtung mehrerer Kraftwerke an einem Fluß mit Frischwasserkühlung nicht mehr einzuhalten sind, werden Kernkraftwerke mit Naßkühltürmen gebaut, wie sie auch schon bei konventionellen Kraftwerken zu finden sind. Dabei rieselt das Kühlwasser im Inneren dieser Türme herab und gibt so seine Wärme an die Luft ab. In einem Kernkraftwerk von 1300 Megawatt, also 1 300 000 kW, Leistung verdunstet auf diese Weise ein knapper Kubikmeter Wasser pro Sekunde. Der weitaus größere Teil des Wassers aber kehrt abgekühlt in das Kraftwerk zurück, während der verdunstete Anteil aus dem Fluß ersetzt werden muß.



Das Bild zeigt das Braunkohlenkraftwerk Neurath mit seinen Naßkühltürmen, von denen drei, an der Dampffahne erkennbar, in Betrieb sind.

Naßkühltürme können zu geringfügigen Klimaveränderungen führen, die sich aber auf die unmittelbare Umgebung beschränken. Umfangreiche wissenschaftliche Untersuchungen und die Erfahrungen mit Naßkühltürmen etwa im Bereich der rheinischen Braunkohle haben ergeben, daß unter dem Einfluß der Wasserdampffahne eines 2000-Megawatt-Kühlturms die durchschnittliche Beschattungszeit in seiner Umgebung um 1 bis 5 Minuten pro Tag, die relative Luftfeuchte am Boden um höchstens 1 Prozent und die Regenmenge im Umkreis von 2 km um weniger als 5 Prozent ansteigen kann. Wegen der Abhängigkeit solcher Zahlenwerte von den lokalen Klimaverhältnissen müssen diese im konkreten Genehmigungsverfahren berücksichtigt werden, um unzumutbare Auswirkungen zu verhindern.

Da das Kühlwasser zum Teil aus stark verschmutzten Flüssen wie dem Rhein entnommen wird, ist auch die mögliche Verunreinigung der Luft mit Bakterien diskutiert worden, die bei der Verdunstung mitgerissen werden könnten. Nach den Berechnungen des Deutschen Wetterdienstes ist beim Betrieb etwa des Kernkraftwerkes Biblis A im Jahresdurchschnitt mit einer Erhöhung der Keimkonzentration um 4 Keime pro Kubikmeter Luft in der unmittelbaren Umgebung des Kühlturmes zu rechnen. Das fällt angesichts einer Keimzahl von 300 bis 1500 in einem Kubikmeter Großstadtluft kaum ins Gewicht. Die überwiegende Zahl der im Wasser enthaltenen Keime wird bei der Verfrachtung in die Luft abgetötet. Auch das im Flußwasser gelöste Salz kann nicht zu einer Beeinträchtigung der Umwelt führen, da es nicht mit verdunstet und Wassertröpfchen durch geeignete Vorrichtungen im Kühlturm zurückgehalten werden.

Die auch bei Naßkühltürmen immer noch, wenn auch in erheblich verringertem Umfang, notwendige Entnahme von Wasser aus dem Fluß wird allerdings dazu zwingen,

in Zukunft zu sogenannten Trockenkühltürmen überzugehen. Bei dieser Kühlturmart, an deren Entwicklung noch gearbeitet wird, kann die Wärme ähnlich wie bei einem Autokühler trocken an die Luft abgegeben werden, so daß Kraftwerke künftig nicht mehr an Flußläufen stehen müssen.

Trockenkühltürme werden bei gleicher Leistung wesentlich größer und teurer als Naßkühltürme sein. Auch beeinträchtigen sie stärker die Stromerzeugung des Kraftwerks und damit die Stromerzeugungskosten. Die möglichen meteorologischen Auswirkungen der großen Warmluftmengen aus Trockenkühltürmen sind noch nicht gut bekannt. Erste Erfahrungen sollen mit einem Trockenkühlturm für das im Bau befindliche 300-Megawatt-Kraftwerk mit Hochtemperaturreaktor gewonnen werden.

Wärme ist im Grund ein wertvolles wirtschaftliches Gut. Deshalb hat die Bundesregierung umfangreiche Untersuchungen eingeleitet, ob und wie die Abwärme von Kraftwerken wirtschaftlich zu nutzen sein wird.

Da die Raumheizung rund 40 % unseres gesamten Energiebedarfs ausmacht und die Einzelfeuerungsanlagen eine Hauptquelle der Umweltverschmutzung darstellen, ist es das Ziel dieser Überlegungen, die Abwärme in Fernheizungssysteme einzuspeisen (Wärme-Kraft-Kopplung). Die Errichtung der erforderlichen Verteilungssysteme erfordert jedoch hohe Investitionen und eine Zeit von mehreren Jahrzehnten. Technische Probleme ergeben sich vor allem aus der Tatsache, daß das Temperaturniveau der Abwärme von etwa 30° Celsius zu niedrig für Heizzwecke ist, für die etwa 100° Celsius nötig sind. Man muß also die Heizwärme dem Kraftwerk auf höherem Temperaturniveau entnehmen, was dazu führt, daß man einen Teil der Elektrizitätsaus-

beute verliert. Die hohen Investitionskosten und die Energieverluste werden aber durch die zusätzlich genutzte Wärme mehr als ausgeglichen, wenn die örtlichen Verhältnisse eine Fernwärmeversorgung unter günstigen Bedingungen zulassen. Das ist im allgemeinen dann der Fall, wenn das Heizkraftwerk relativ nahe an einem dicht bebauten Verbrauchszentrum liegt. Ob ein Gebiet unter wirtschaftlichen Bedingungen mit Fernwärme versorgt werden kann, d. h. „fernwärmewürdig" ist, hängt allerdings im Einzelfall noch von sehr vielen anderen Umständen ab. Dazu zählen u. a. die Kosten, zu denen konkurrierende Energieträger angeboten werden können, die zukünftige Entwicklung der Bebauungsdichte und der Energiepreise oder die Bebauungsstruktur. Die Bundesregierung ließ in einem umfangreichen Studienwerk untersuchen, welche Gebiete bis 1990 zusätzlich mit Fernwärme versorgt werden können. Dabei ergab sich, daß bei Ausschöpfung des gesamten fernwärmewürdigen Potentials pro Jahr nahezu 20 Mio t SKE an fossilen Brennstoffen eingespart werden können. Im entsprechenden Ausmaß könnte die Wärme- und Schadstoffbelastung der Umwelt gesenkt werden.

Darüber hinaus wird geprüft, ob sich die Abwärme für eine landwirtschaftliche Nutzung eignet, indem man sie etwa in Rohren unter Äcker leitet, auf deren leicht erwärmtem Boden dann zweimal im Jahr geerntet werden könnte. Auf diese Weise ließen sich in der Bundesrepublik Pflanzen wie z. B. Sojabohnen ernten, deren Produktion sonst bei uns nicht möglich ist. Erfolgversprechend scheinen auch erste Versuche, die Aufzucht von Fischen, wie Karpfen und Aale, zu beschleunigen, indem man die Fischteiche mit Hilfe des Kraftwerk-Kühlwassers um einige Grade erwärmt.

Genehmigungsverfahren und Kontrollen

Rechtliche Grundlagen

Bei der Errichtung und dem Betrieb von Kernkraftwerken ist ein dichtes Netz von gesetzlichen Vorschriften zu erfüllen: Vorschriften des Atom- und Strahlenschutzrechtes, des Gewerberechts, des Energiewirtschaftsrechts und, besonders wichtig im Hinblick auf den Umweltschutz, des Baurechts, des Wasserrechts, des Naturschutzrechts, des Raumordnungsrechts und des Immissionsschutzrechts. Die Genehmigungsverfahren werden von den zuständigen obersten Landesbehörden durchgeführt. Auch nach der Erteilung der Betriebsgenehmigung unterliegen kerntechnische Anlagen einer ständigen behördlichen Aufsicht. Das Bundesministerium des Innern übt im atomrechtlichen Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren für Kernkraftwerke und andere kerntechnische Anlagen die Rechts- und Zweckmäßigkeitsaufsicht über diese Genehmigungstätigkeit der Länder aus und ist in der Praxis in jede Genehmigungsphase eingeschaltet.

Zu den rechtlichen Grundlagen dieses Verfahrens gehört an erster Stelle das „Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz)" von 1959, das 1976 zum vierten Mal dem Stand der Entwicklung angepaßt wurde. Seine Ziele werden in § 1 festgelegt, der lautet:

„Zweck dieses Gesetzes ist,
1. die Erforschung, die Entwicklung und die Nutzung der Kernenergie zu friedlichen Zwecken zu fördern,
2. Leben, Gesundheit und Sachgüter vor den Gefahren

der Kernenergie und der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlen zu schützen und durch Kernenergie oder ionisierende Strahlen verursachte Schäden auszugleichen,
3. zu verhindern, daß durch Anwendung oder Freiwerden der Kernenergie die innere oder äußere Sicherheit der Bundesrepublik gefährdet wird,
4. die Erfüllung internationaler Verpflichtungen der Bundesrepublik auf dem Gebiet der Kernenergie und des Strahlenschutzes zu gewährleisten."

Die Rechtssprechung hat immer wieder deutlich gemacht, daß das Schutzziel (§ 1 Abs. 2) Vorrang hat vor dem Förderziel (§ 1 Abs. 1).

Von zentraler Bedeutung für die Genehmigung kerntechnischer Anlagen ist insbesondere § 7.2 des Atomgesetzes:

„Die Genehmigung darf nur erteilt werden, wenn
1. keine Tatsachen vorliegen, aus denen sich Bedenken gegen die Zuverlässigkeit des Antragstellers und der für die Errichtung, Leitung und Beaufsichtigung des Betriebs der Anlage verantwortlichen Personen ergeben, und die für die Errichtung, Leitung und Beaufsichtigung des Betriebs der Anlage verantwortlichen Personen die hierfür erforderliche Fachkunde besitzen,
2. gewährleistet ist, daß die bei dem Betrieb der Anlage sonst tätigen Personen die notwendigen Kenntnisse über einen sicheren Betrieb der Anlage, die möglichen Gefahren und die anzuwendenden Schutzmaßnahmen besitzen,
3. die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden durch die Errichtung und den Betrieb der Anlage getroffen ist,
4. die erforderliche Vorsorge für die Erfüllung gesetzlicher Schadensersatzverpflichtungen getroffen ist,

5. der erforderliche Schutz gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter gewährleistet ist,
6. überwiegende öffentliche Interessen, insbesondere im Hinblick auf die Reinhaltung des Wassers, der Luft und des Bodens, der Wahl des Standorts der Anlage nicht entgegenstehen."

Die Strahlenschutzverordnung enthält genauere Regelungen zum Schutz des einzelnen und der Allgemeinheit vor Strahlenschäden. Ihre Vorschriften haben für die technische Gestaltung eines Kernkraftwerkes große Bedeutung.

Die in der Strahlenschutzverordnung enthaltenen restriktiven Grenzwerte für die Strahlenbelastung in der Umgebung von kerntechnischen Anlagen für den Normalbetrieb, die Verpflichtung auch für den Störfall für die Einhaltung von Belastungshöchstwerten Vorsorge zu treffen, sowie die darüber hinausgehende Forderung, die Strahlenbelastung „so gering wie möglich zu halten", erfordern spezielle Rückhalteeinrichtungen für flüssige, aerosolförmige und gasförmige radioaktive Stoffe sowie eine Vielzahl von Sicherheitssystemen, die im Normalbetrieb einer Anlage oder bei Störfällen funktionieren müssen. Die Strahlenschutzwerte in der Bundesrepublik zum Schutze der Bevölkerung in der Umgebung kerntechnischer Anlagen sind im Vergleich zu den nach den EURATOM-Grundnormen für den Strahlenschutz und den Empfehlungen der internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) für zulässig erachteten Strahlenbelastungen sehr restriktiv. Die in der Strahlenschutzverordnung festgelegten höchstzulässigen Werte für die Bevölkerung verleihen der Sicherheitsmaxime Ausdruck, bei der sich abzeichnenden quantitativen Belastung durch Umgang mit radioaktiven Stoffen jede mögliche Gefährdung der Umwelt und des einzelnen Bürgers auszuschließen. Daneben wurden aus dem Atomgesetz eine Reihe weiterer Verord-

nungen abgeleitet, die u. a. Vorschriften hinsichtlich der Genehmigungsverfahren und der Deckungsvorsorge (Haftungsfragen) enthalten. Zu den deutschen Gesetzen und Vorschriften kommt noch ein umfangreicher Komplex internationalen Rechts hinzu. Dazu zählt vor allem der EURATOM-Vertrag mit Bestimmungen über Melde- und Auskunftspflichten, Überwachungsbefugnissen und Patentlizenzen, die zum Teil als unmittelbar verbindliches Recht für die Verwendung der Kernenergie gelten und entsprechende Beachtung erfordern.

Hinsichtlich der Durchführungspraxis von atomrechtlichen Genehmigungsverfahren hat sich die Bundesregierung wiederholt zu dem Grundsatz bekannt, daß dem Schutz von Leben und Gesundheit der Bevölkerung Vorrang vor energiewirtschaftlichen Bedürfnissen einzuräumen ist.

Zuständigkeiten

Das Atom- und Strahlenschutzrecht wird in der Bundesrepublik weitgehend im Auftrag des Bundes von den Ländern durchgeführt („Auftragsverwaltung''). Die Genehmigung für die Errichtung und den Betrieb von kerntechnischen Anlagen erteilen die obersten Landesbehörden, meist die Wirtschafts- und/oder Sozialministerien der Länder, im Zusammenwirken mit anderen Landesministerien. Sie sind ebenfalls zuständig für die Durchführung der Aufsicht sowie für die Genehmigung des Umgangs mit Kernbrennstoffen und radioaktiven Abfällen.

„Auftragsverwaltung'' bedeutet, daß dem Bund die Rechts- und Zweckmäßigkeitsaufsicht über das Handeln der Länder zusteht, soweit diese im Auftrage des Bundes tätig sind. Die Bundesregierung kann z. B. mit Zustimmung des Bundesrates allgemeine Verwaltungsvorschriften erlassen, den Landesbehörden Weisungen erteilen sowie Bericht und Vorlage von Akten verlangen.

Die Genehmigungsbehörden prüfen bei jedem Antrag, ob die Genehmigungsvoraussetzungen erfüllt sind — insbesondere, ob die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden durch die Errichtung und den Betrieb der geplanten Anlage erfüllt ist. Bei diesen Prüfungen beteiligen die Genehmigungsbehörden alle in ihren Zuständigkeiten berührten Behörden von Bund, Ländern und Gemeinden sowie der sonstigen Gebietskörperschaften.

Genehmigungsantrag

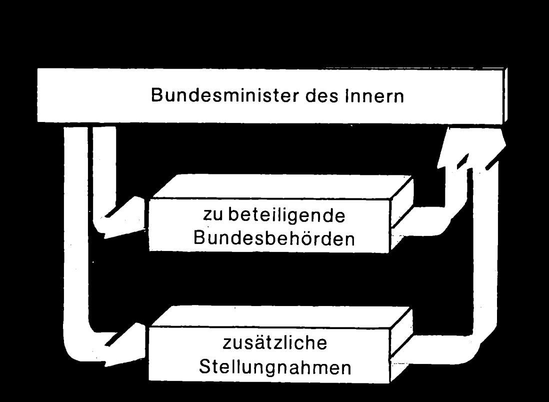
Der Bauherr und spätere Betreiber eines Kernkraftwerkes, in der Regel ein Elektrizitäts-Versorgungsunternehmen („EVU"), richtet seinen Antrag an die zuständige Genehmigungsbehörde des Landes, in dem er die Anlage errichten will. Dazu muß er eine Reihe von Unterlagen einreichen. Erforderlich sind vor allem

- erläuternde Pläne, Zeichnungen und Beschreibungen,
- ein Sicherheitsbericht, der alle mit der Anlage verbundenen Gefahren und die dagegen vorgesehenen Sicherheitsmaßnahmen darlegen muß,
- Anlagen, die es ermöglichen, Zuverlässigkeit und Fachkunde der für die Errichtung der Anlage sowie für die Leitung und Beaufsichtigung ihres Betriebes verantwortlichen Personen zu prüfen, und
- Vorschläge über die Vorsorge für die Erfüllung gesetzlicher Schadensersatzverpflichtungen.

Prüfung

Bei der Prüfung eines Antrages läßt sich die Behörde von unabhängigen Sachverständigen und Gutachtern beraten. Dies sind in der Regel die Technischen Überwachungsvereine (TÜV) und die Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS), aber auch Institutionen wie der Deutsche Wetterdienst und Experten oder Sachverständige von Hochschulinstituten und anderen Forschungseinrichtungen. So werden im Auftrag der Behörde detaillierte Gutachten angefertigt und an allen wichtigen Anlageteilen technische Kontrollen und Inspektionen durchgeführt.

Bei Erhaltung eines Genehmigungsantrags unterrichtet die Behörde das Bundesministerium des Innern. Dieses überwacht seinerseits die Genehmigungstätigkeit der Behörde, fordert alle notwendigen Unterlagen an und holt, wenn erforderlich, weitere Stellungnahmen ein. Beratend zur Seite steht dem Bundesministerium des Innern die Reaktorsicherheitskommission (RSK) als unabhängiges Sachverständigengremium aus Experten verschiedener Fachrichtungen wie Reaktorphysik, Kern-, Sicherheits- und Bautechnik, Meß- und Regelungstechnik, Strahlenschutz, Biophysik und Strahlenmedizin. Neben der RSK läßt sich der Bundesminister des Innern insbesondere durch die Strahlenschutzkommission (SSK) und durch die Sachverständigenkommission zur Sicherung des Brennstoffkreislaufs (SSB) sowie von der Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) laufend beraten. Im gesamten Genehmigungsverfahren gilt, daß grundsätzlich der mehr Sicherheit bietende Weg gewählt wird, wenn verschiedene Sachverständige unterschiedliche Lösungswege bei Sicherheitsfragen einzuschlagen empfehlen.


Bundesminister des Innern
zu beteiligende
Bundesbehörden
zusätzliche
Stellungnahmen

Genehmigungsstufen

Um während der mehrjährigen Bauzeit eines Kernkraftwerkes auch die jeweils neuesten wissenschaftlichen und technischen Erkenntnisse über Sicherheitsprobleme durch entsprechende Auflagen berücksichtigen zu können, wird in der Regel die einheitliche Errichtungs- und Betriebsgenehmigung in mehrere Teilgenehmigungen aufgespalten. Außerdem besteht die Möglichkeit eines Vorbescheides, der dem Antragsteller Aufschluß über wichtige Fragen, nicht jedoch die Erlaubnis zum Baubeginn gibt. Entschieden wird mit diesem Vorbescheid, ob etwa Bedenken gegen den vom Antragsteller vorgesehenen Standort oder die technische Grundkonzeption einer Anlage bestehen. Ist ein Vorbescheid positiv, kann er von der Behörde im späteren Genehmigungsverfahren nur aus zwingenden Gründen widerrufen werden. In jedem Fall ist jedoch für die Verwirklichung eines Projektes zusätzlich das normale atomrechtliche Genehmigungsverfahren vorgeschrieben.

Standortgenehmigung

Die zuständige Landesbehörde muß im Genehmigungsverfahren insbesondere auch prüfen, ob der Standort für das geplante Kraftwerk geeignet ist, an dem der Antragsteller die Anlage errichten möchte. Dabei sind zu berücksichtigen:

- die geologischen Verhältnisse (Tragfähigkeit des Baugrundes, Gefahr von Setzungen und Schieflagen etwa durch Grundwasserabsenkung),

– die seismologischen Verhältnisse (das Kraftwerk muß gegenüber dem größten in diesem Gebiet wahrscheinlichen Erdbeben sicher sein),
– die hydrologischen Verhältnisse (Kühlwassermöglichkeiten, Lage zu Trinkwasser-Versorgungsgebieten, Quellen, mögliche Gefahr der Überschwemmung des Standorts),
– die meteorologischen Verhältnisse (Temperaturprofile, Windrichtungen, Windhäufigkeit),
– die Verkehrslage (Straßen, Schienenwege, schiffbare Flüsse, Flugverkehr),
– die möglichen sonstigen Einwirkungen von außen (vor allem Explosionsmöglichkeiten etwa durch in der Nähe angesiedelte chemische Industrie, häufige Transporte explosiver Stoffe, militärische Anlagen),
– die radiologische Vorbelastung (das Vorhandensein anderer Anlagen mit radioaktiven Ableitungen) sowie
– die Bevölkerungsdichte und -verteilung.

Die endgültige Entscheidung über die Genehmigung eines Kernkraftwerk-Standorts setzt darüber hinaus den positiven Verlauf einer Reihe anderer Genehmigungsverfahren voraus, beispielsweise nach dem Baurecht, Wasserrecht, Immissionsschutzrecht u. a. Die Prüfung der hierbei maßgebenden Gesichtspunkte fällt in die Zuständigkeit und Verantwortung des jeweiligen Bundeslandes. Die Bundesaufsicht durch den Bundesminister des Innern erstreckt sich auch bei der Standortfrage nur auf die vom Atomgesetz abgedeckten Sicherheits- und Strahlenschutzaspekte.

Die Wahl und Beurteilung eines Standortes im atomrechtlichen Genehmigungsverfahren hat bisher stets große Beachtung durch die Öffentlichkeit gefunden und wurde nicht selten Anlaß für den Austrag kontroverser Meinungen. Die Bundesregierung hat deshalb seit langem die Ansicht vertreten, daß zur Lösung des

Standortproblems eine vorausschauende Standortvorausplanung erforderlich ist. Wie in der Zweiten Fortschreibung des Energieprogramms angekündigt, wird die Bundesregierung dazu eine Änderung des Raumordnungsgesetzes vorschlagen. Danach sollen die Bundesländer in einem geeigneten Verfahren unter Abwägen aller wichtigen Aspekte optimale Standorte innerhalb größerer Regionen ermitteln. Die Bundesregierung unterstützt die Standortvorsorgeplanung durch koordinierende und abstimmende Tätigkeiten, insbesondere bei den Erarbeitungen bundeseinheitlicher Beratungskriterien für Standorte. Wesentlich ist die Auswahl der günstigsten aus einer größeren Anzahl betrachteter möglicher Standorte. Dies soll über einen größeren Zeitraum entsprechend dem Bedarf an Standorten im vorhinein geplant werden und erlaubt damit gleichzeitig, die notwendigen gutachterlichen Untersuchunen sowie den Dialog mit der betroffenen Bevölkerung ohne Termindruck abwickeln zu können.

Beteiligung der Öffentlichkeit

Die Genehmigungsbehörde ist aufgrund von Atomgesetz und Atomrechtlicher Verfahrenordnung verpflichtet, das Vorhaben in ihrem amtlichen Veröffentlichungsblatt und in einer im Bereich des Standortes der Anlage verbreiteten Tageszeitung bekanntzumachen sowie auf die Bekanntmachung im Bundesanzeiger hinzuweisen. Diese Bekanntmachung muß

– darauf hinweisen, daß und wo der Genehmigungsantrag und die dazugehörigen Unterlagen zur Einsicht ausgelegt sind,

- dazu auffordern, mögliche Einwendungen innerhalb von einem Monat vorzubringen sowie
- einen Erörterungstermin bestimmen, bei dem die vorgebrachten Einwände mit den Einwendern und dem Antragsteller erörtert werden.

Die Entscheidung der Behörde muß schließlich außer den Antragstellern auch allen Einwendern zugestellt oder zur Kenntnis gebracht werden, wobei die Bedenken, wenn sie nicht mit Begründung verworfen wurden, ihren Niederschlag in Auflagen an den Antragsteller finden. Jeder Bürger, dessen Einspruch abgewiesen wurde, kann gegen diese Entscheidung Klage beim zuständigen Verwaltungsgericht erheben.

Die Bundesregierung mißt der Beteiligung der Öffentlichkeit große Bedeutung zu. Sie vertritt jedoch die Auffassung, daß diese Beteiligung in unserer parlamentarischen Demokratie mit ihren Prinzipien der Gewaltenteilung und Rechtsstaatlichkeit nicht dazu führen darf, daß einzelnen Gruppen oder Verbänden Mitentscheidungsrechte bei den Verwaltungsentscheidungen eingeräumt werden. Dies würde nämlich praktisch dazu führen, daß ein Teil der behördlichen Entscheidungsgewalt der Kontrolle der frei und allgemein gewählten Parlamente entzogen würde.

Von der Bundesregierung werden zur Zeit Möglichkeiten zur Verbesserung der Beteiligung der Öffentlichkeit geprüft. Die Bundesregierung ist sich dabei darüber im klaren, daß der berechtigte Wunsch kritischer und umweltbewußter Bürger nach mehr Information und Beteiligung zu Verzögerungen von Projekten führen kann.

Trotzdem muß versucht werden, die Rechte und Belange der Betroffenen schon im Genehmigungsverfahren soweit wie möglich zu klären und zu berücksichti-

gen sowie alle entsprechenden Fragen ausführlich und überzeugend zu beantworten, auch wenn sich dadurch im Einzelfall das Genehmigungsverfahren verlängert. Sollte durch eine solche Genehmigungspraxis vermeidbar werden, daß genehmigte und baureife Projekte durch Verwaltungsgerichte gestoppt werden, entfielen andererseits durch Bauverzug bedingte Mehrkosten.

Sicherheitsanforderungen

Zu den wichtigsten der einem Genehmigungsantrag beizufügenden Unterlagen gehört der sogenannte Sicherheitsbericht. Er muß eine detaillierte Beschreibung des vorgesehenen Standorts, der Anlage selbst und eine sogenannte Störfall- oder Sicherheitsanalyse enthalten. Diese Analyse aller denkbaren Störfallvorgänge muß in Anbetracht der besonderen Risiken mit einem Aufwand und einer Systematik durchgeführt werden, die in anderen Bereichen der Industrie ohne Beispiel ist. Anhand extremer Annahmen muß dabei nachgewiesen werden, daß die vorhandenen Schutzmaßnahmen und Sicherheitseinrichtungen denkbare Störfallabläufe entweder von vornherein unmöglich machen oder so begrenzen, daß sie keine schädlichen Auswirkungen auf die Bevölkerung haben können.

In der Sicherheitsanalyse werden die theoretisch denkbaren Störfälle bezüglich ihres Ablaufs und ihrer Auswirkungen analysiert. Da es möglich ist, theoretisch immer neue und komplexere Unfallmechanismen zu ersinnen, ist es einleuchtend, daß man mit den Maßnahmen zum Schutz vor Störungen einmal die Grenze des

technisch Sinnvollen erreicht. Ein Beispiel dafür wäre die Annahme, daß in einem Kernkraftwerk gleichzeitig an mehreren voneinander völlig unabhängigen Stellen schwere Störungen auftreten. Man definiert deshalb unter pessimistischen Annahmen und unter Einschaltung allen zur Verfügung stehenden Sachverstandes über technische Einrichtungen und das Verhalten von Menschen in schwierigen Situationen sogenannte Auslegungsstörfälle. Bei den heute in der Bundesrepublik üblichen Leichtwasserreaktoren wird beispielsweise der plötzliche Bruch einer Primärkühlmittelrohrleitung als ein Auslegungsstörfall unterstellt, hinzu kommen weitere Auslegungsstörfälle durch Versagensmechanismen im Inneren der Anlage oder durch äußere Einwirkungen auf die Anlage. Solche Störfälle müssen von den Sicherheitseinrichtungen noch ohne Gefährdung der Umgebung beherrscht werden. Die Annahmen für die Auslegungsstörfälle werden so gewählt und von zusätzlichen Sicherheitsvorkehrungen so ergänzt, daß alle denkbaren Störfälle gleicher Größenordnung von diesem Sicherheitskonzept mit abgedeckt werden.

Die seitens der Behörden gestellten Sicherheitsanforderungen sind allgemein in den Sicherheitskriterien des Bundesministers des Innern festgelegt. Konkrete Anforderungen werden in den einzelnen Genehmigungsverfahren festgelegt, wobei von der RSK empfohlene Leitlinien als Orientierung dienen. Die neue Strahlenschutzverordnung erfordert darüber hinaus, auch für den bei der Auslegung der kerntechnischen Anlage zugrunde zu legenden Störfall für die Einhaltung von Belastungshöchstwerten Vorsorge zu treffen. Für die Zukunft ist in zunehmendem Maß die Festlegung technischer Regeln vorgesehen.

Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens für ein Kernkraftwerk ist weiterhin vom Antragsteller oder Geneh-

migungsinhaber eine Vorsorge für die Entsorgung des Kraftwerks nachzuweisen.

Durch diese Vorsorge muß die sachgerechte und sichere Verbringung der während der gesamten Betriebszeit der Anlage anfallenden verbrauchten Brennelemente in ein geeignetes Lager, ihre Wiederaufarbeitung und die Beseitigung der erhaltenen radioaktiven Abfälle sichergestellt sein.

Hierzu können Einrichtungen im Inland oder im Ausland herangezogen werden.

Die hinsichtlich der Entsorgungsvorsorge zu erfüllenden Anforderungen hat der Bundesminister des Innern in den „Grundsätzen zur Entsorgungsvorsorge für Kernkraftwerke" festgelegt.

Prüfungen und Aufsicht

Ein weiteres wesentliches Merkmal des Genehmigungsverfahrens ist der ungewöhnlich hohe Aufwand an Prüfungen durch die Behörden selbst und durch unabhängige Gutachter im Auftrag der Behörden. Begleitende Kontrollen werden auch während der Errichtung eines Kernkraftwerkes und der Herstellung von Komponenten, z. B. des Reaktordruckbehälters, an allen sicherheitstechnisch wichtigen Anlageteilen und Systemen durchgeführt.

Eine besonders gründliche Aus- und Fortbildung der hierbei tätigen Personen ist ebenso wichtig wie beim Betriebspersonal von kerntechnischen Anlagen selbst.

Auch nach der erteilten Genehmigung für den Dauerbetrieb unterliegt ein Kernkraftwerk ständig der Aufsicht durch die Behörden. Überwacht wird vor allem die Einhaltung der genehmigten Betriebsbedingungen, die Abgabe von radioaktiven Substanzen an die Umwelt und die Strahlenbelastung der Belegschaft. Die Behörden untersuchen eventuell aufgetretene Störungen und schreiben in regelmäßigen Abständen durchzuführende Wiederholungsprüfungen vor. Sie können auch nachträglich noch Auflagen erteilen und sind gesetzlich zum Widerruf einer Genehmigung verpflichtet, wenn dies wegen einer erheblichen Gefährdung der Beschäftigten, der Anwohner oder der Allgemeinheit notwendig sein sollte.

Katastrophenschutz

Auch wenn eine für die Umgebung gefährliche Störung an einem Kernkraftwerk sehr unwahrscheinlich erscheint, ist es im Sinne einer Vorsorge dennoch vernünftig, auch für diesen Fall zweckmäßige Schutzmaßnahmen vorzuplanen. Dies ist nicht nur im Zusammenhang mit Kernkraftwerken üblich, sondern auch für andere Großanlagen etwa der chemischen Industrie oder für Naturkatastrophen.

Bei Kernkraftwerken geht man von der Annahme aus, daß bei einem Unfall trotz aller Sicherheitsmaßnahmen ein erheblicher Teil der im Reaktor vorhandenen radioaktiven Spaltprodukte an die Umgebung abgegeben wird oder Gefahr dafür besteht (eine nukleare Explosion ist aus physikalischen Gründen nicht möglich). Für derartige Fälle sind Maßnahmen vorgeplant, die die Aus-

wirkungen des Schadens begrenzen und verringern sollen.

Zur Vorbereitung der Schadensbekämpfung bei Unfällen oder Störfällen sind, soweit der Kraftwerksbereich betroffen ist, nach § 38 StrlSchV die Betreiber der Anlagen verpflichtet. Sie erstellen die Alarmpläne entsprechend vom Länderausschuß für Atomkernenergie verabschiedeten und vom Bundesminister des Innern herausgegebenen „Empfehlungen für die Planung von Notfallschutzmaßnahmen durch Betreiber von Kernkraftwerken".

Mit den Alarmplänen der Betreiber abgestimmt erstellt die für den Katastrophenschutz zuständige Behörde die Katastrophenschutzpläne, in denen die für die Durchführung von Notfallschutzmaßnahmen außerhalb der Anlage erforderlichen Daten und Unterlagen zusammengefaßt sind. Hierzu hat der Bundesminister des Innern gemeinsam mit dem Länderausschuß für Atomkernenergie und den Innenministerien der Länder „Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen" beschlossen.

Die Katastrophenschutzpläne dienen der dienstlichen Verwendung der bei Schutzmaßnahmen Beteiligten. Sie sehen die Unterrichtung der Bevölkerung vor, soweit sie in einem Schadensfall betroffen sein könnte. Die für den Katastrophenschutz zuständigen Landesbehörden prüfen, inwieweit Teile der Pläne zur Information der Bevölkerung veröffentlicht werden können, ohne daß damit die Handhabe für eine böswillige Beeinträchtigung oder Verhinderung von Schutzmaßnahmen gegeben wird.

Die Kernenergiewirtschaft

Die Bundesrepublik Deutschland gehört zu den wenigen Ländern, die heute eine eigenständige Kernenergieindustrie haben. Zahlreiche Unternehmen, insbesondere des Maschinenbaus, der Elektroindustrie und der Chemie, sind daran beteiligt. So wird z. B. beim Bau eines Kernkraftwerks nur etwa ein Drittel der Leistungen von der beauftragten Herstellerfirma gestellt, der Rest entfällt auf rund 300 Zulieferer. Insgesamt arbeiten heute in der Bundesrepublik Deutschland mehr als 40 000 Menschen auf dem eigentlichen Gebiet der Kernenergie. Der Bau eines Kernkraftwerkes beschäftigt während der ca. 7 Jahre Bauzeit etwa 6000 Menschen. Der Zusammenhang zwischen Kernenergie und Beschäftigung ist zwar nicht unwesentlich, aber doch nur zweitrangig vom Arbeitsaufwand beim Bau und Betrieb von Kernkraftwerken und Brennstoffkreislauf-Anlagen gekennzeichnet; schließlich schaffen auch andere Formen der Energieerzeugung oder auch der Energieeinsparung Beschäftigungsmöglichkeiten – je teurer eine Energiequelle ist, desto mehr Beschäftigung macht sie erforderlich. Was die zeitliche Dauer der vom KKW-Bau verursachten Beschäftigungswirkung betrifft, so liegt die Kernenergie zwischen Sonnenenergie und Energieeinsparung, wo praktisch nur während der Investitionsphase Arbeitsplätze gesichert werden, und deutscher Steinkohle bzw. Importöl, wo im Bergbau bzw. in der in die OPEC-Staaten exportierenden Industrie dauernde Beschäftigung anfällt.

Wegen der hohen Anforderungen an die Kerntechnik hinsichtlich Sicherheit, Qualitätsfertigung u. v. a. m. ist zu erwarten, daß Kernkraftwerke und andere kerntechnische Anlagen mittelfristig nur von den industriell hochentwickelten Ländern gebaut werden können. Die

Kerntechnik entspricht damit dem weltwirtschaftlichen Zwang, in den Industrieländern hochwertige Produkte herzustellen, nachdem einfache Produkte zunehmend in Niedriglohnländern der Dritten Welt billiger hergestellt werden. Der Export von Kernkraftwerken wird daher einen nicht unwesentlichen Beitrag zu unserer Außenhandelsbilanz liefern können. Wegen der Möglichkeit der militärischen Verwendung einiger Materialien und Technologien genehmigt die Bundesregierung allerdings Exporte nur dann, wenn der Empfängerstaat sich vertraglich zur ausschließlich friedlichen Nutzung der gelieferten Technik verpflichtet und sich entsprechenden internationalen Kontrollen unterwirft. Die Bundesregierung geht dabei noch über die Forderungen hinaus, die der Nichtverbreitungsvertrag (Atomwaffensperrvertrag) in dieser Beziehung vorschreibt.

Wegen des großen Vorsprungs einiger anderer Länder bei der Nutzung der Kernenergie – der Bundesrepublik Deutschland war bis 1955 die Beschäftigung mit Kernforschung und -technik von den Siegermächten des 2. Weltkriegs verboten – und wegen des hohen wirtschaftlichen und technischen Erfolgsrisikos zu Beginn der Entwicklung hat der Staat Wissenschaft und Wirtschaft bei Forschung und Entwicklung finanziell erheblich unterstützt. Bei den heute technisch ausgereiften Leichtwasserreaktoren konnte diese Unterstützung mit der Markteinführung inzwischen vollständig abgebaut werden; Kernkraftwerke mit Leichtwasserreaktoren werden heute nach rein privatwirtschaftlichen Gesichtspunkten ohne eine Beteiligung der Öffentlichen Hand bestellt und gebaut. Auch in den meisten anderen Bereichen der Kerntechnik mit Ausnahme der Sicherheitsforschung wird die staatliche Unterstützung mit fortschreitender Entwicklung abgebaut werden.

Zuständig für die Planung und Finanzierung von Kraft-

werken ist die Elektrizitätswirtschaft. Nach dem Energie-Wirtschaftsgesetz ist sie verpflichtet, jederzeit eine ausreichende und möglichst preisgünstige Versorgung mit elektrischem Strom sicherzustellen. Die Elektrizitäts-Versorgungsunternehmen wählen nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten den nach Größe und Art geeigneten Kraftwerkstyp aus und bestellen die Anlage bei einer Hersteller-Firma. Bauen und betreiben dürfen sie allerdings erst nach staatlicher Genehmigung, die nur dann erteilt wird, wenn hinsichtlich Sicherheit, Umweltschutz und der sonst zu berücksichtigenden Aspekte alle Voraussetzungen erfüllt sind.

Die Wirtschaftlichkeit der Kernenergie

Da die Bundesregierung selbst keine Kraftwerke baut und betreibt, hat sie selbst keinen unmittelbaren Zugriff zu den Kostendaten der Kernenergienutzung. Die Elektrizitätsversorgungsunternehmen (EVU) entscheiden insbesondere in der Bundesrepublik Deutschland und in den USA im Rahmen der gesetzlichen Bestimmungen unabhängig von Staat, Herstellerindustrie, Bergbau und anderen Brennstofflieferanten über den aus ihrer Sicht wirtschaftlichsten Bau von Kraftwerken. Hierbei kommen die EVU selbst dort zu einer eindeutigen wirtschaftlichen Entscheidung für Kernenergie, wo Kohle viel billiger ist als in der Bundesrepublik Deutschland, wie z. B. in den USA.

Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft haben das Energiewirtschaftliche Institut an der Universität Köln und die Forschungsstelle für Energiewirtschaft

in München ein Gutachten über die Stromerzeugungskosten aus Kohle und Kernenergie erstellt. Für Strom aus deutscher Steinkohle ergibt die Studie für 1977 bestehende reviernahe Kraftwerke 7,55 Dpf/kWh im Grundlastbereich (ca. 6500 Betriebsstunden pro Jahr) und 9,1 Dpf/kWh im Mittellastbereich (ca. 4000 Betriebsstunden pro Jahr). Dabei sind die direkten Subventionen mit 1,1 (Grundlast) bzw. 1,5 Dpf/kWh (Mittellast) berücksichtigt. Für Strom aus bestehenden Kernkraftwerken ergibt das Gutachten 4,0 Dpf/kWh im Grundlast- und 5,9 Dpf/kWh im Mittellastbereich. Die für alle Kraftwerke gleich hohen Verteilungskosten sind in diesen Zahlen nicht enthalten. Bei Strom aus Kohlekraftwerken beträgt der Brennstoffkostenanteil etwa 60 %, bei Strom aus Kernkraftwerken für den gesamten Brennstoffkreislauf etwa 20 %. Prozentual gleich hohe Verteuerungen des Brennstoffs wirken sich daher bei Strom aus Kernkraftwerken weniger aus als bei Strom aus Steinkohlekraftwerken.

Auch für Kraftwerke, die 1985 in Betrieb gehen werden, errechnen die Autoren des Gutachtens einen deutlichen Vorteil für Kernkraftwerke.

Bei den angegebenen Stromerzeugungskosten ist zugrunde gelegt, daß die Kraftwerke nach 20 Jahren bezahlt („abgeschrieben") sind. Technisch erscheint eine solche Betriebsdauer aufgrund der großen einschlägigen Ingenieurerfahrungen erreichbar. Wenn die Kraftwerke, die technisch auf eine Lebensdauer von 40 Jahren ausgelegt sind, länger als 20 Jahre betrieben werden können, so würde dies die Stromerzeugungskosten entsprechend senken. Eine frühere Stillegung würde die Stromkosten natürlich entsprechend erhöhen, ein Einwand, der unter Hinweis auf die mangelnde Langzeiterfahrung oft gegen die Kostenkalkulation bei Kernkraftwerken vorgebracht wird.

Bei der Kalkulation der Stromerzeugungskosten aus Kernkraftwerken sind auch Beträge für die Wiederaufarbeitung des Kernbrennstoffes und die Endlagerung der radioaktiven Abfälle eingestellt. Für die spätere Stilllegung und Beseitigung des Kernreaktors sind 0,3 Pfennig pro kWh berücksichtigt. Bei einem Kernkraftwerk mit 1300 MW Leistung führt das zu einer jährlichen Rückstellung von etwa 25 Mio DM. Auch wenn die heutigen Schätzungen über die wirklichen Kosten von Stilllegung und Beseitigung noch Unsicherheiten enthalten, zeigen diese Daten doch, daß die Stromkosten von diesen Unsicherheiten relativ wenig beeinflußt werden.

Die Stromerzeugungskosten werden 1985 sowohl für Kernenergie als auch für Steinkohle erheblich höher liegen als 1977; diese Kostenerhöhung ist teilweise Ergebnis der allgemeinen Preisentwicklung, hat aber auch die folgenden spezifischen Ursachen: längere Bauzeiten, höherer Sicherheits- und Umweltschutzaufwand, steigende Brennstoffkosten.

Den sehr niedrigen Brennstoffkosten der Kernenergie steht gegenüber, daß der Bau eines Kernkraftwerks deutlich teurer ist als der Bau eines Steinkohlekraftwerks. Ein Kernkraftwerk ist technisch aufwendiger, insbesondere wegen der umfangreichen Sicherheitsvorkehrungen. Zusätzlich sind die Bauzeiten von Kernkraftwerken länger, was sich spürbar auf Kosten auswirkt.

Wegen der hohen finanziellen Vorleistungen (Investitionskosten) und der vergleichsweise niedrigen Brennstoffkosten werden Kernkraftwerke von den Elektrizitätsversorgungsunternehmen im Dauerbetrieb genutzt (Grundlast), für den sie auch technisch am besten geeignet sind. Dagegen werden Kraftwerke mit hohen Brennstoffkosten (Kohle, Öl) bevorzugt in Tageszeiten

mit hohem Strombedarf eingesetzt. Die Unterschiede in der Einsatzdauer müssen bei Kostenvergleichen berücksichtigt werden.

Aufgrund gesetzlicher Vorschriften müssen Kernkraftwerke bis zu einem Schadensbetrag von 500 Mio DM privatwirtschaftlich versichert werden. Die Kosten hierfür liegen in der Größenordnung einiger hundertstel Pfennige pro kWh. Die ebenfalls gesetzlich festgelegte, staatliche Haftung für eventuelle Schadensersatzleistungen, die mit den oben erwähnten 500 Mio DM nicht abgedeckt werden können, stellt also nur eine geringfügige Subventionierung der Kernenergie dar.

Nicht enthalten sind in allen diesen Berechnungen die Mittel, die der Staat für Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Kernenergie aufgewandt hat und noch aufwendet. Bis Ende 1976 sind im Rahmen der Atomprogramme etwa 16,7 Milliarden DM an öffentlichen Mitteln ausgegeben worden, davon allerdings nur etwa 4,7 Mrd DM für die Entwicklung von Technologien für die heute kommerziell genutzten Leichtwasserreaktoren.

Die restlichen 12 Mrd DM wurden überwiegend für Grundlagenforschung und z. T. für fortgeschrittene Reaktortypen aufgewendet, die noch nicht in der Anwendung sind. Wie bei anderen großtechnischen Neuentwicklungen waren und sind diese Aufwendungen notwendig, um die sichere Nutzbarkeit dieser Technik gründlich zu untersuchen und damit einen wichtigen Beitrag zur langfristigen Sicherung unserer Energieversorgung zu ermöglichen. Schon deshalb ist es wirtschaftlich nicht gerechtfertigt, diese Entwicklungskosten einer bestimmten Zahl von Kernkraftwerken zuzurechnen; tut man dies dennoch für die 4,7 Mrd DM, die für die Entwicklung der Reaktortechnik der 1. Ge-

neration (Leichtwasserreaktor, Brennstoffkreislauf, Schwerwasserreaktoren usw.) aufgewandt worden sind, so ergibt schon eine überschlägige Rechnung, daß diese Forschungsvorleistungen des Staates im Gegenwert von 2–3 Kernkraftwerken auf längere Sicht keine wesentliche Subventionierung des „Atomstroms“ darstellen.

Publikationsverzeichnis

Weitere, ausführliche Informationen enthalten die folgenden Publikationen und Dokumente von Bundesregierung und Bundestag:

Energieprogramm der Bundesregierung. Zweite Fortschreibung vom 14. 12. 1977 (Bundesminister für Wirtschaft).

Programm Energieforschung und Energietechnologien 1977–1980 (Bundesministerium für Forschung und Technologie).

Programm Technologien zur Nutzung der Sonnenenergie 1977–1980 (Bundesministerium für Forschung und Technologie).

Zur friedlichen Nutzung der Kernenergie – Eine Dokumentation der Bundesregierung (Bundesministerium für Forschung und Technologie).

Jährlicher Bericht zur Projektdurchführung auf dem Gebiet der nichtnuklearen Energieforschung (Bundesministerium für Forschung und Technologie).

Daten und Fakten für energiesparende Maßnahmen in Haushalt und Kleinverbrauch (Bundesministerium für Forschung und Technologie).

Gesamtstudie über die Möglichkeiten der Fernwärmeversorgung aus Heizkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland – Kurzfassung (Bundesministerium für Forschung und Technologie).

Einstellungen und Verhalten der Bevölkerung gegenüber verschiedenen Energiegewinnungsarten – Bericht und Materialien (Bundesministerium für Forschung und Technologie).

Rationelle Energieverwendung – Statusbericht 1976 (Bundesministerium für Forschung und Technologie).

Energiediskussion. Informationen – Argumente – Meinungen. Periodische Veröffentlichung (Bundesministerium für Forschung und Technologie).

Rechenschaftsbericht und Programm des Bundesministers des Innern „Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen und Strahlenschutz" (Bundesministerium des Innern).

Grundsätze zur Entsorgungsvorsorge für Kernkraftwerke (Umwelt Nr. 57; Bundesministerium des Innern).

Jährlicher Bericht der Bundesregierung „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung" (Bundesministerium des Innern).

Energiesparen beim Bauen und Wohnen (Bundesministerium für Wirtschaft).

Energiesparbuch für das Eigenheim (Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau).

Energiedebatte des Deutschen Bundestages vom 15. Juni 1977 (Bundestagsdrucksache).

Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Fraktionen von SPD und FDP im Deutschen Bundestag vom 4. Juni 1976 betr. neue Primärenergiequellen (Bundestagsdrucksache).

Antwort der Bundesregierung auf die Große Anfrage der Fraktionen von SPD und FDP im Deutschen Bundestag vom 8. Juni 1977 betr. Energiepolitik (Bundestagsdrucksache).

Antwort der Bundesregierung auf die Große Anfrage der Fraktion der CDU/CSU im Deutschen Bundestag vom 8. Juni 1977 betr. Energiebedarf und friedliche Nutzung der Kernenergie (Bundestagsdrucksache).

Programm für Zukunftsinvestitionen (Beschluß des Bundeskabinetts vom 23. März 1977). Bulletin Nr. 74 vom 13. Juli 1977.

Die Publikationen der Bundesregierung sind bei den Pressereferaten der jeweils genannten Bundesministerien kostenlos erhältlich; die Bundestagsdrucksachen können beim Verlag Dr. Hans Heger, Herderstraße 5300 Bonn, bezogen werden.

ISBN 3-88135-009-8